جمهورية العراق
وزارة التربيـــــة
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

صناعي/ معالجة المياه وشبكاته

الأول

تأليف

د. حسن علي عمران | د. ثائر شريف خيون | د. إحسـان كاظم عباس
م. ساطع محمود الراوي | م. مصطفى مجيد عبد الأئمة | م. سعدية كصاب ساكت

الطبعة الثالثة
1443هـ - 2021 م

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

لقد ظهرت في الكثير من دول العالم المتقدم مناهج حديثة في جميع فروع العلم، وطرائق تدريسية جديدة، أثرت في العملية التعليمية في المدارس والجامعات، وأحدثت تطوراً جذرياً بجميع المناهج التدريسية، وعليه أصبح من الضروري أن يلتحق العراق بهذا الركب وأن يسارع في العمل لتطوير مناهج التعليم وأساليبه، واستحداث تخصصات جديدة وخاصة مجال شبكات ومحطات معالجة المياه، التي تلعب دوراً طليعياً في إرساء دعائم الحضارة والمدنية، إذ إن هنالك علاقة طردية بين احتياجات التنمية الصناعية، والمدنية، والتكنولوجية، والاقتصادية، والبيئية بصفة خاصة، وبين مناهج التعليم الصناعي.

شُكلت لجنة مختصة من قبل المديرية العامة للتعليم المهني لإعداد كتاب العلوم الصناعية ـ المرحلة الأولى ـ لطلبة إعداديات الصناعة تخصص محطات وشبكات المياه، كمساهمة جزئية ضمن خطة شاملة لإنشاء تخصصات مهنية جديدة، تواكب النهضة العلمية والتكنولوجية التي يعيشها العالم اليوم.

تضمن الكتاب ثلاثة أبواب، تناول الباب الأول منها مبادئ الهيدروليك حيث يتعرف الطالب على خصائص الموائع، هيدروستاتيكية الموائع، القوى المسلطة على الأجسام المغمورة، معادلات الطاقة، طرق قياس التصريف، وأنواع وهيدروليكية وطرق ربط المضخات.

أما الباب الثاني فيتناول المدخل إلى الكيمياء، حيث يكون الطالب قادراً على أن يتعرف على آلية جمع العينات، المحاليل القياسية، متطلبات الماء الصالح للشرب، الخواص الفيزيائية والكيمياوية للماء، وطرق التبادل الأيوني.

واشتمل الباب الثالث والأخير على الأحياء المجهرية، إذ يتعرف الطالب على أهمية الأحياء المجهرية، وطرق السيطرة عليها، تصنيف أهم الأمراض التي تسببها الأحياء المجهرية وأسبابها، المعالجات المختلفة وتأثيرها على الأحياء المجهرية والتعرف على معايير المياه الصالحة للشرب.

لقد تم إدراج أمثلة محلولة في حسابات القوانين والمعادلات الرياضية وغيرها من التطبيقات الحياتية المتنوعة ذات العلاقة. فضلاً عن إعطاء أسئلة مختلفة في نهاية كل فصل ليتمكن الطالب بمساعدة مدرسي المادة من فهم المادة العلمية بشكل أكبر، واستيعاب التخصص بصورة علمية وفنية صحيحة، ومن ثم يكون قادراً على المهام الفنية التي سوف يُكّلف بها مستقبلاً من الأعمال الفنية في محطات تصفية وتعقيم المياه ومحطات معالجة المياه، وكافة الفحوصات المختبرية للمياه.

إن الفصول الدراسية المذكورة آنفاً ستكون بعون الله القاعدة الأساسية للمراحل الدراسية اللاحقة، وساندة لكتاب التدريب العملي للمراحل الدراسية الثلاث.

ندعو الله عز وجل أن نكون قد وفقنا في جهدنا بإعداد هذا الكتاب، وسنكون شاكرين لكل الأخوة المعنيين بهذه المادة إذا ما رفدوا بملاحظاتهم وآرائهم حول الكتاب مع شكرنا واعتزازنا بالجميع.

.... والله الموفق

المؤلفون

بغداد -2012

المحتويات

الباب الأول

مبادئ الهيدروليك

Hydraulic Principals

الأهداف

الهدف العام:

يهدف هذا الباب إلى التعرف على مبادئ علم الهيدروليك وخصائص الموائع والمعادلات الأساسية التي لها علاقة بالموضوع.

الأهداف الخاصة:

نتوقع أن يكون الطالب قادراً على أن:

1. يتعرف على أنواع وحدات القياس.
2. يتعرف على خصائص الموائع المهمة مثل الكثافة، اللزوجة، الضغط، الجريان.
3. التعرف على هيدروستاتيكية الموائع (الموائع الساكنة) من خلال دراسة الضغط الكلي ومركز تأثيره.
4. يتعرف على القوى المسلطة على الأجسام المستوية المغمورة
5. يتعرف على معادلات الطاقة.
6. يصنف أنواع الجريان.
7. يصنف أنواع القنوات المفتوحة.
8. يتعرف على طرق وأنواع قياس التصريف.
9. يصنف أنواع المضخات والتعرف على هيدروليكية المضخات وطرق ربطها.

الفصل الأول

خصائص الموائع

Fluid Characteristics



الفصل

محتويات

تعلم المواضيع

- وحدات القياس بالنظام العالمي
- خصائص الموائع
  - الكثافة
  - اللزوجة
  - الضغط

خصائص الموائع



خصائص الموائع

Fluid Characteristics

1-1 مقدمة Introduction

يعرف المائع على إنه المادة التي يتغير شكلها أو تتشوه أو الاثنان معاً نتيجة تأثير قوى القص المسلطة عليها حتى لو كانت هذه القوى ضئيلة جداً، وتستمر بالتشوه أو تغيير الشكل ما دامت قوى القص مسلطة عليها. تشمل الموائع المادة بحالتيها الغازية والسائلة. بذلك يمكن تصنيف المواد بصورة عامة إلى مواد صلبة وموائع.

إن العلم الذي يعنى بحركة المواد السائلة أو الغازية (الموائع) يسمى ميكانيك الموائع Fluid Mechanics، مثلما يختص ميكانيك المواد الصلبة بحركة الأجسام الصلبة والقوى المؤثرة عليها، ومن هذا العلم تتفرع مجموعة من العلوم الأخرى مثل الهيدروديناميك Hydrodynamics والطاقة الكهرومائية Hydroelectric والهيدروليك Hydraulic وديناميك الهواء Aerodynamics وديناميك الغازات Gas dynamics وغيرها من العلوم، إذ أن كل علم من هذه العلوم يختص بحالة معينة من ميكانيك الموائع.

في هذا الفصل سيتم دراسة مجموعة مواضيع لها علاقة بميكانيك الموائع، حيث سيتم التطرق أولاً إلى موضوع الوحدات وعلى الطالب أن يولي هذا الجزء عناية خاصة كونه يُعد الأساس في فهم وإدراك الكميات الفيزيائية عامة وخصائص الموائع خاصة. ثم يليها شرح وتوضيح بشكل موجز لخصائص الموائع مثل الكثافة، اللزوجة، الضغط، الحرارة، وغيرها.

2-1 وحدات القياس Measurement Units

تُقاس الكميات والخواص الفيزيائية بوحدات معينة لكل منها، مثلاً يستعمل المتر واحياناً القدم لقياس الطول، ويشير هذا التنوع إلى وجود عدد من الأنظمة المعتمدة للوحدات ولاشك إن اعتماد نظام واحد يسهل من انتقال المعرفة والتكنولوجيا بين شعوب العالم، كذلك من أهم متطلبات حل المسائل الهندسية تنسيق الوحدات فيما بينها.

هناك نظامان رئيسيان لوحدات القياس، النظام المتري (متر، غرام، ثانية) الذي يستخدم في بعض الدول، والنظام البريطاني (قدم، باوند، ثانية) الذي يستخدم في دول الكومنولث والولايات المتحدة وغيرها، ثم جاء النظام الدولي ليوحد وحدات القياس عالميا وسُمي بنظام الوحدات العالمي SI Units (Standard International Units) الذي يتكون من ستة وحدات أساسية، كما في الجدول (1-1).

جدول 1-1 الوحدات الأساسية لنظامي الوحدات العالمي والبريطاني SI & Imperial Base Units

وحدات القياسية ورموزها		النظام العالمي			النظام البريطاني	
		وحدة القياس	الرمز		وحدة القياس	الرمز
الطول	L	متر	م	m	قدم	ft
الكتلة	m	كيلوغرام	كغم	kg	باوند	Ib
الزمن	t	ثانية	ثا	s	ثانية	s
التيار الكهربائي	I	أمبير	أمبير	A	أمبير	A
درجة حرارة الديناميك الحراري	T	كلفن	كلفن	K	رانكن	R
شدة الإضاءة		شمعة	شمعة	Cd	الشمعة	Candela

هناك وحدات غير أساسية كثيرة غيرها تمثل كميات فيزيائية وهندسية مختلفة تُعد وحدات مشتقة من الوحدات الأساسية، كما هو مبين لبعض منها في الجدول (1-2).

جدول 1-2 الوحدات المشتقة من نظام الوحدات العالمي SI-Derived Units

الوحدة المشتقة	وحدة القياس	الرمز		أساس الوحدة
القوة	نيوتن	نت	N	كغم.م/ثا^2
الشغل والطاقة	جول	جول	J	نيوتن.م
القدرة	واط	واط	W	جول/ثا
الضغط	باسكال	باسكال	Pa	نيوتن/م^2
فرق الجهد الكهربائي	فولت	فل	V	واط/أمبير
المقاومة	أوم	هم	Ω	فولت/أمبير

3-1 الكثافة Density (ρ)

لديك كيلو غرام واحد من مادتين مختلفتين ولتكن المادة الأولى على سبيل المثال هي الحديد والثانية هي القطن، ستلاحظ الفرق الشاسع بين الحيز الكبير الذي يشغله القطن والحيز الصغير الذي يشغله الحديد، من هنا يتضح بأن لكل مادة كثافة معينة حيث تعرف **الكثافة الكتلية بأنها كتلة الجسم لوحدة الحجم**، ويرمز لها (ρ) ويلفظ (رو) ووحدة قياسها هي كيلو غرام \ المتر المكعب ويرمز لها (**كغم\م^3**) (**kg/m^3**).

وهنالك أكثر من مفهوم للكثافة يستعمل حسب التطبيقات المطلوبة إذ تستعمل الكثافة الوزنية والكثافة النسبية في تطبيقات الضغط والجريان في الموائع. **الكثافة الوزنية هي وزن وحدة الحجوم ويرمز لها بالرمز** (γ) ويلفظ (كَاما) ووحدة قياسها نيوتن\ المتر المكعب (**N/m^3**). أما **الكثافة النسبية** (r_d) **فتعرف على أنها النسبة بين كثافة المادة وكثافة مادة قياسية معينة وهي مجردة من الوحدات**، والمادة القياسية التي ينسب لها عادة لهذا الغرض هي الماء عند درجة حرارة (**4°C**) حيث يبلغ الماء كثافته العظمى تحت الضغط الجوي القياسي والذي يعادل (**1000 kg/m^3**).

مثال 1 إحسب الكثافة الكتلية للزئبق بوحدات كغم \ م^3 إذا كانت كتلته تساوي (1360 غم) وحجم العبوة التي تحويه تساوي (100 سم^3)، وماهي كثافته النسبية.

الجواب

$\rho = m / v$

$1360\ g = 1.36\ kg$

$100\ cm^3 = 0.0001\ m^3$

$\rho = 1.36 / 0.0001 = 13600\ kg/ m^3$

$r_d = \rho / \rho_w$

$r_d = 13600 / 1000 = 13.6$

مثال 2 إحسب الكثافة الوزنية للماء، إذا علمت أن التعجيل الأرضي يساوي (9.8 م/ ثا^2).

الجواب

$$\gamma = \rho \times g$$

$$\gamma = 1000\ kg/m^3 \times 9.8\ m/s^2 = 9800\ N/m^3$$

1-4 اللزوجة Viscosity (μ)

إن مفهوم اللزوجة يظهر جلياً في حالة جريان الموائع فقط، وهي من الخصائص المهمة للموائع التي تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم وحساب المنظومات الهيدروليكية مثل اختيار مقاطع الأنابيب وأنواعها والمضخات واختيار أنواع المواد المستعملة في تصنيع الأنابيب وأسطحها الداخلية أوغيرها.

جميع الموائع في الطبيعة ذات لزوجة ناتجة من تماسك الجزئيات بعضها مع بعض وكذلك من تبادل الزخم بين طبقات المائع عند الجريان، ولكون هذه الخاصية لا يمكن مشاهدتها أو قياسها إلا والمائع في حالة الجريان خلافاً لخاصية الكثافة التي بالإمكان قياسها والمائع في حالة سكون لذا سميت خاصية اللزوجة باللزوجة الديناميكية. وتعرف اللزوجة على أنها **خاصية المائع التي يبدي المائع بموجبها مقاومة لإجهادات القص**. فالمائع الذي ينساب بسهولة مثل الماء تعتبر لزوجته صغيرة والذي ينساب بصعوبة تكون لزوجته عالية مثل العسل. إذاً تعتمد مقادير اللزوجة على نوع المائع فضلاً عن تأثرها بدرجة حرارته، وعادة في السوائل تقل اللزوجة عند زيادة درجة الحرارة فالماء مثلاً تنخفض لزوجته بمقدار النصف بتغير درجة حرارته من (10ºC) إلى (40ºC)، أما في الغازات فيزداد مقدار اللزوجة عند زيادة درجة الحرارة ويعتقد أن السبب في ذلك هو زيادة نشاط حركة جزئيات الغاز وتصادمها فيما بينها مما يؤدي إلى زيادة مقاومة الجزئيات لحركة بعضها البعض.

ينص قانون نيوتن للزوجة **على أن إجهاد القص يتناسب تناسباً طردياً مع اللزوجة**، ويرمز لها (μ) ويلفظ (ميو)، وحدة قياس اللزوجة هي البويز (Poise) وتعادل (1/10) باسكال ـ ثانية (Pa.s).

في تطبيقات معينة ونظراً لتكرار حاصل قسمة اللزوجة الديناميكية على الكثافة في معادلات تطبيقات الموائع تستعمل اللزوجة الكينماتيكية وهي عبارة عن **حاصل قسمة لزوجة المائع على كثافته**، ويرمز لها بالرمز (ν) وتلفظ (نيو) ووحدة قياسه هي متر مربع\ ثانية (m^2/s).

مثال 3 سائل لزوجته (0.05 poise) وكثافته النسبية (0.85)، إحسب:-

1. اللزوجة بوحدات النظام الدولي.
2. اللزوجة الكينماتيكية.

الجواب

1. $\mu = 0.05 / 10 = 0.005$ Pa.s
2. $\nu = \mu / \rho$

$\rho = r_d \times \rho_w = 0.85 \times 1000 = 850\ kg/m^3$

$\nu = 0.005 / 850 = 5.88 \times 10^{-6}\ m^2/s$

5-1 القوة Force (F)

تُعرف القوة بأنها المؤثر الذي يغير أو يحاول أن يغير من شكل الجسم أو حالته الحركية. أي عندما تتغير سرعة جسم مقداراً أو أتجاهاً أو كلاهما تتوقع إن هنالك مسبباً لهذا التغيير، ينتج هذا التغيير من تأثير المحيط على المادة، وهي من خصائص الجريان التي قد تتغير زماناً أو مكاناً وهي كمية متجهة، ووحدة قياسها النيوتن (N)، المشتق من وحدات الكتلة والتعجيل، وبالرجوع إلى قانون نيوتن الثاني فإن:

النيوتن: القوة اللازمة لإكساب جسم كتلته (1) كغم تعجيلا مقداره (1) م\ثا² باتجاه القوة المؤثرة

$$F\ (N) = m\ (kg) \times a\ (m/s^2)$$

إذ أن:

F: القوة m: الكتلة a: التعجيل

6-1 الضغط Pressure (P)

يُعرف الضغط بأنه مقدار القوة العمودية المسلطة على وحدة المساحة (قوة \ مساحة) ووحدة قياسه حسب نظام الوحدات الدولية هو (نيوتن\م²)، وتُعرف هذه الوحدة بالباسكال (Pa)، ويمكن استعمال مضاعفات هذه الوحدة مثل الكيلو باسكال (kPa) أو الميكا باسكال (MPa) وغيرها من المضاعفات أو الأجزاء، وفي النظام البريطاني يستعمل (باوند \ قدم² psf) أو (باوند / إنج² psi)، وهنالك عدد من الوحدات مثل (سم عمود زئبق) أو (إنج عمود زئبق) أو (البار) الذي يساوي (100 kPa).

ويوجد الضغط في نقاط المائع أجمعها الواقعة تحت ضغطٍ سواءً أكان المائع في حالة حركة أم سكون، وللمائع القابلية على تسليط الضغط حتى دون مؤثر خارجي. والضغط كمية غير موجهه لوقوعه من جميع الجهات على نقطة معينة في المائع. كذلك يُعد من خصائص الجريان لإمكان تغيره من نقطة إلى أخرى ومن زمن إلى آخر. ويحسب الضغط في الموائع من المعادلة التالية:

$$\mathbf{P = \gamma \times h}$$

إذ إن :

P	الضغط	Pa
Γ	الكثافة الوزنية	N/m^3
H	ارتفاع عمود السائل	M

1-6-1 الضغط الجوي Atmospheric Pressure (P_{atm})

يعرف الضغط الجوي في مكان ما على أنه مقدار الضغط الناتج عن وزن عمود الهواء (من الغلاف الجوي إلى سطح الأرض) مقسوماً على وحدة المساحة، ويكون مقدار الضغط الجوي على مستوى سطح البحر عند (20°C) مساوي إلى (101.3 كيلوباسكال) أو واحد ضغط جوي (atm)، ويزداد الضغط الجوي عند الانخفاض عن مستوى سطح البحر ويقل عند الارتفاع عنه بسبب الزيادة والنقصان في طول عمود الهواء الذي يسبب الضغط. كما ويعتمد الضغط الجوي على درجة الحرارة فيرتفع مع انخفاض درجة الحرارة، ويقل عند ارتفاعها. يقاس الضغط الجوي بالباروميتر الزئبقي وهو عبارة عن أنبوب مغلق من الأعلى مملوء بالزئبق مغمورة نهايته السفلى بحوض من الزئبق كما مبين في الشكل (1-1)، قيمة الضغط الجوي هي 76سم عمود زئبق عند مستوى سطح البحر بدرجة حرارة مقدارها (20°C).

شكل 1-1 الباروميتر الزئبقي



- يكون الضغط الجوي في مناطق جنوب العراق أكبر منه في شماله، يعزى ذلك إلى أن ارتفاع مناطق الشمال عن مستوى سطح البحر هو أعلى منه في مناطق الجنوب، لذلك يكون ارتفاع عمود الهواء في مناطق الجنوب أكبر.
- يعتمد الضغط الجوي على درجة الحرارة فيرتفع الضغط الجوي مع انخفاض درجة الحرارة، ويقل مع ارتفاعها أي أنه في الشتاء أعلى مما هو عليه في الصيف.

مثال 4

حول 0.9 ضغط جوي إلى كيلو باسكال، باوند\ إنج^2، سم زئبق، إنج زئبق.

الجواب

$$0.9 \text{ atm} \times 101.3 \text{ kPa/atm} = 91.17 \text{ kPa}$$

واحد ضغط جو يعادل 14.7 باوند/إنج^2

$$0.9 \text{ atm} \times 14.7 \text{ psi/atm} = 13.23 \text{ psi}$$

$$0.9 \text{ atm} \times 76 \text{ cm Hg / atm} = 68.4 \text{ cm Hg}$$

واحد إنج تعادل 2.54 سم

$$68.4 \times \frac{1}{2.54}\left(\frac{in}{cm}\right) = 26.93 \text{ in Hg}$$

2-6-1 ضغط المقياس Gage Pressure (P_{gage})

ضغط المقياس هو قيمة الضغط التي يؤشرها مقياس الضغط، تبدأ أغلب مقاييس الضغط بالتدريج من الصفر، باعتبار أن قيمة الضغط الجوي تساوي صفراً لكونه مسلط على المائع المراد قياس ضغطه من كافة الاتجاهات.

3-6-1 ضغط الخواء Vacuum Pressure (P_v)

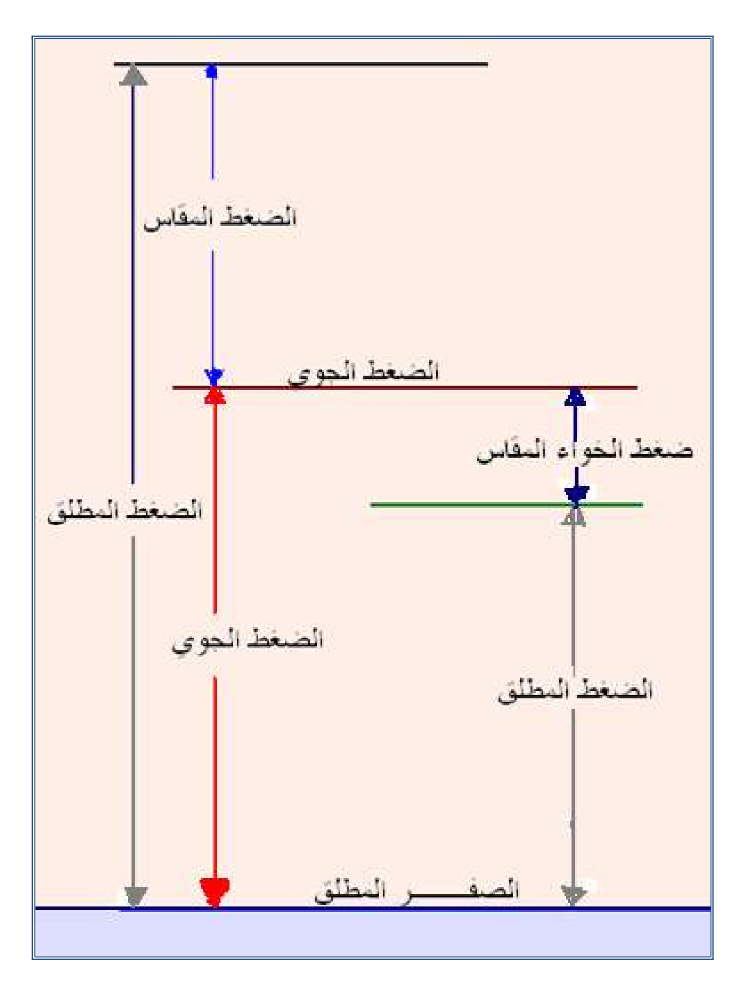
يسمى الضغط داخل الحيز ضغط الخواء (ضغطاً خوائياً) إذا كان الضغط في الحيز أقل من الضغط الجوي وتكون قيمة القراءة تحت الضغط الجوي (قراءة سالبة).

1-6- 4 الضغط المطلق (Absolute Pressure P_{abs})

ويمثل القيمة الحقيقية للضغط ويساوي مجموع الضغط الجوي والضغط المقاس. ويوضح الشكل (1-2) أنواع الضغوط أعلاه.

الضغط المطلق = الضغط الجوي + الضغط المقاس

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{gage}$$

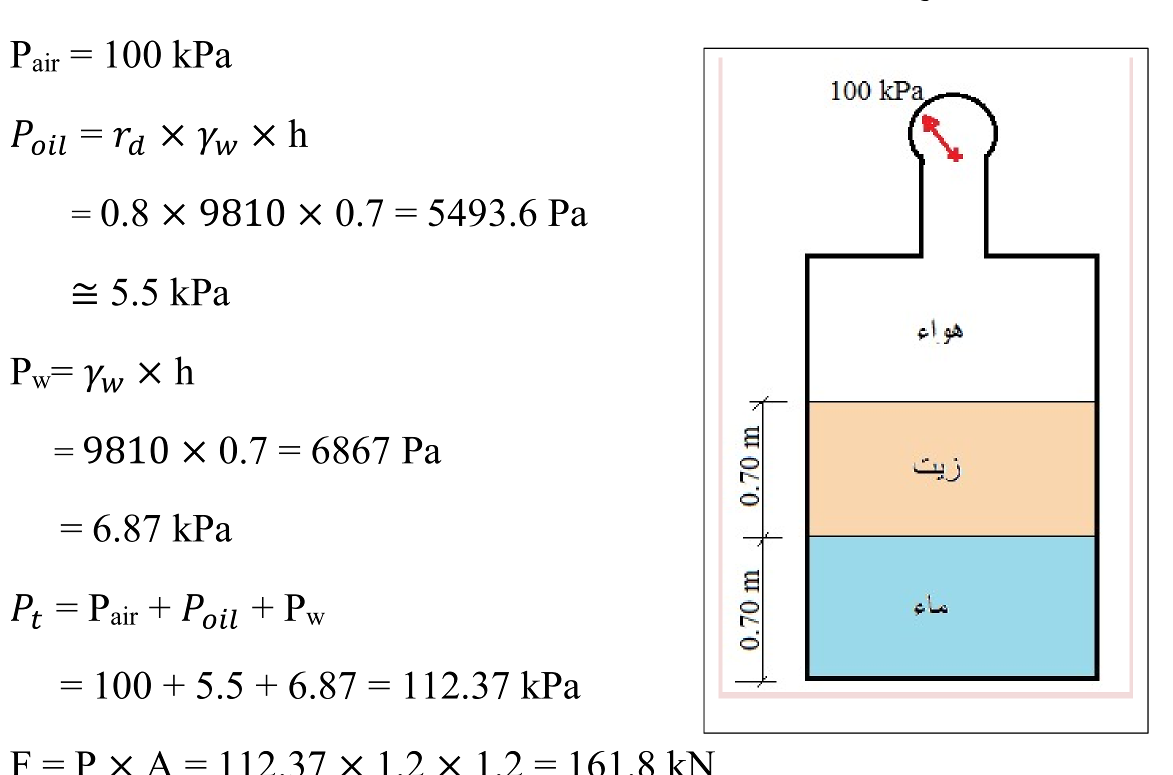


شكل 1-2 الضغط الجوي والضغط المقاس وضغط الخواء والضغط المطلق

<u>مثال 5</u>

خزان مغلق يحتوي على هواء وزيت وماء، وكانت القراءة على مقياس الضغط مقدارها (100kPa)، فإذا علمت أن أبعاد الخزان في المستوى الأفقي (1.2×1.2) م، أوجد القوة الكلية على قاعدة الخزان مع العلم إن الكثافة النسبية للزيت (0.8).

الجواب



$P_{air} = 100\ kPa$

$P_{oil} = r_d \times \gamma_w \times h$

$= 0.8 \times 9810 \times 0.7 = 5493.6\ Pa$

$\cong 5.5\ kPa$

$P_w = \gamma_w \times h$

$= 9810 \times 0.7 = 6867\ Pa$

$= 6.87\ kPa$

$P_t = P_{air} + P_{oil} + P_w$

$= 100 + 5.5 + 6.87 = 112.37\ kPa$

$F = P \times A = 112.37 \times 1.2 \times 1.2 = 161.8\ kN$

5-6-1 أدوات قياس الضغط　Pressure Measurement Instruments

المانومتر　Manometer

عبارة عن أداة بسيطة تستعمل لقياس فرق الضغط، وهي عبارة عن أنبوبة زجاجية مدرجة بشكل حرف (U) ويعتمد فرق الضغط فيها على الفرق في ارتفاع السائل بين ساقي الأنبوبة ويرمز له بالحرف (h). عند الحاجة إلى قراءة فروقات صغيرة في الضغط يستعمل المانومتر المائل، وفي هذه الحالة تكون القراءة أكثر دقة، الشكل (3-1) يوضح المانومتر بنوعيه. يمكن حساب فرق الضغط من المعادلة التالية إذا كان المانومتر غير مائل:

فرق الضغط (P_d) = ارتفاع عمود السائل (h) × كثافة السائل (ρ) × التعجيل الأرضي

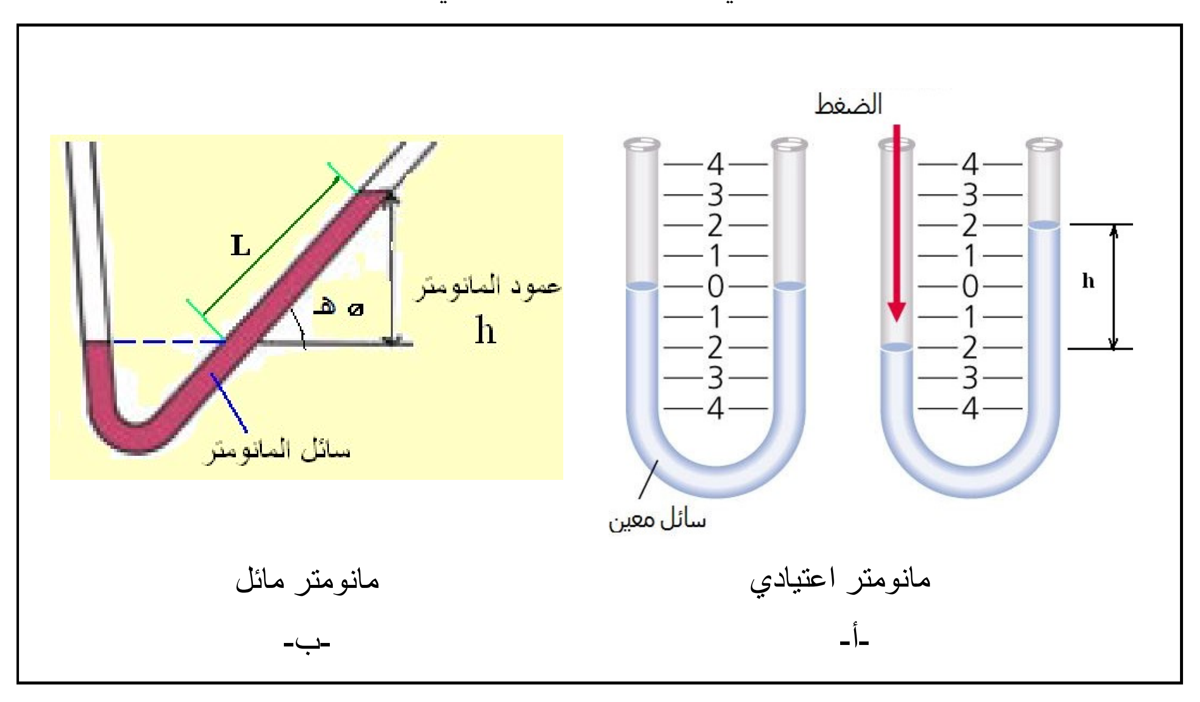
$$P_d = h \times \rho \times g$$

أما إذا كان المانومتر مائلاً تستعمل العلاقة التالية:

فرق الضغط = طول ذراع المانومتر (السائل) × جا (هـ) × كثافة السائل × 9.8

$$P_d = L \times \sin\theta \times \rho \times g$$

حيث إن جيب الزاوية (جا) يمثل نسبة الضلع المقابل على الوتر في العلاقات المثلثية، وسوف تعطى قيمة جيب الزاوية إلى الطالب مباشرة في حل المسائل الرياضية في هذه المرحلة.



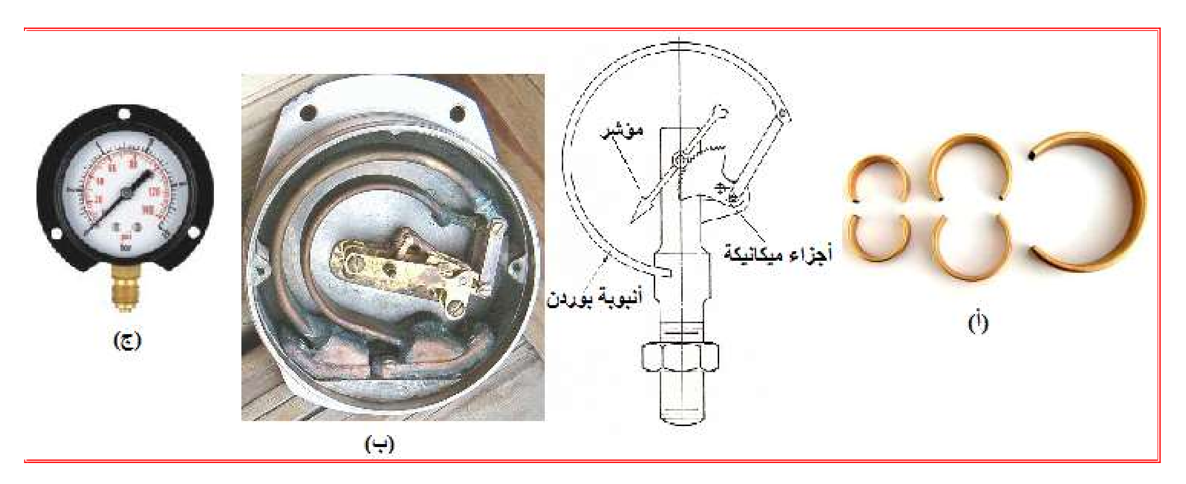
شكل 1- 3 المانومتر الاعتيادي والمائل



- قراءة المانومتر المائل تكون أدق من المانومتر الاعتيادي، كون الذراع المائل يعطي قراءة بتفصيل أكثر من الذراع العمودي بسبب زيادة طول الذراع وبهذا تزداد دقة القراءة.

مقياس بوردن Bourdon Gauge

يتكون هذا المقياس من أنبوبة معدنية بيضوية المقطع (مفلطحة) وذات شكل دائرة غير مكتملة، كما في الشكل (4-1- أ)، وتغلق هذه الأنبوبة من إحدى نهايتيها ويتصل بهذا الطرف أجزاء ميكانيكية فيها مؤشر في حين يوصل الطرف الآخر بالمكان الذي يراد قياس الضغط فيه، وكما هو موضح في الشكل (4-1- ب)، فيقوم هذا الضغط بمحاولة فتح تحدب الأنبوب الى الخارج مما ينتج عنه إزاحة ميكانيكية تنتقل عبر الأجزاء الميكانيكية وبالتالي إعطاء قراءة تتناسب مع الضغط الموجود في الحيز. ويستخدم عادة لقياس الضغوط المرتفعة وضغط الخواء، ويبين الشكل (4-1- ج) مقياس بوردن .



شكل 1- 4 مقياس بوردن

عمود البيزومتر

يُعد وسيلة سهلة لقياس الضغط المتوقع للسائل، ويتركب من أنبوب يرتفع بداخله سائل بصورة حرة من غير أن يفيض، إذ أن ارتفاع السائل في الأنبوبة يمثل قيمة الضغط.

المانومتر الفرقي

يستخدم لقياس الفرق بين ضغطين، إذ يكون مائع المقياس ذي كثافة أكبر منها بالنسبة للمائع المطلوب قياس ضغطه، من أكثر السوائل المستعملة في هذا النوع من الأدوات هو الزئبق لوزنه النوعي العالي (13,6)، وبالتالي فأن هذا النوع يكون مناسباً لقياس الضغوط الكبيرة.

مثال 6

1. إذا كان الفرق بين ذراعي مانومتر 20 سم عمود ماء، جد الفرق بالضغط بالباسكال.
2. إذا كانت القراءة في المانومتر المائل بزاوية 30 درجة هي 50 سم عمود ماء، جد الفرق بالضغط بوحدات الباسكال.

الجواب

1)

$$P_d = h \times \rho \times g$$

$$\rho_{water} = 1000\ kg/m^3$$

$$P_d = \frac{20}{100} \times 1000 \times 9.8 = 1960\ Pa$$

2)

$$P_d = L \times \sin\theta \times \rho \times g$$

$$P_d = 0.5 \times \sin 30 \times 1000 \times 9.8$$

$$P_d = \frac{50}{100} \times \frac{1}{2} \times 1000 \times 9.8 = 2450\ Pa = 2.45\ kPa$$

أسئلة الفصل الأول

س1) عرف الموائع، وما هو الأختلاف بين السوائل والغازات؟

س2) عدد العوامل التي تؤثر على لزوجة الموائع.

س3) عرف الضغط، وما هي وحداته المستعملة؟ إذكر أهم المقاييس المستعملة لقياس الضغط.

س4) قارن بين الضغط المطلق وضغط المقياس.

س5) وعاء مملوء بالزيت، إذا كان وزن الزيت يساوي (1.9 kN) وحجم الوعاء يساوي 200 لتر. إِحسب الكثافة الوزنية والكثافة الكتلية والكثافة النسبية للزيت.

ج: $9.5\ kN/m^3$ ، $969\ kg/m^3$ ، 0.969

س6)

أ- إذا كان الضغط الجوي في مدينة بغداد 101 كيلو باسكال، جد مقدار الضغط الجوي بالباوند\ قدم^2 وبالباوند\ أنج^2 (psi). ج/ $2109.4\ Ib/ft^2$, 14.7 psi

ب- ما هو الضغط المسلط على قاعدة خزان مساحته 0.2 م^2، إذا كان الخزان ملئ بالماء، الذي كثافته 1000 كغم/م^3، علما إن الإناء معرض إلى الضغط الجوي وارتفاع الخزان 1.2م.

ج/ 11.76 kPa

ت- يقرأ المقياس ضغطاً مقداره 150 كيلوباسكال، في حين أن الضغط الجوي يساوي 99 كيلوباسكال، أوجد الضغط المطلق. ج/ 249 kPa

ث- إذا علمت أن مقدار الضغط المُقاس في خزان لترشيح وتصفية الماء يساوي (29.4 psi)، جِد مقدار الضغط المطلق بوحدتي البار والكيلو باسكال. ج/ 202.7 kPa ، 2.027 Bar

س7)

أ- إذا كان الفرق بين ذراعي مانومتر 5 سم عمود زئبق، جد الفرق بالضغط بالباسكال.

ج/ 6.6 Pa

ب- ذا كانت القراءة في مانومتر مائل بزاوية 45 درجة هي 42 سم، جد الفرق بالضغط بوحدات الباسكال إذا كان المائع هو الماء، علما ان جا45=0.707

ج/ 2.9 kPa

الفصل الثانى

الهيدروستاتيك

Hydrostatic

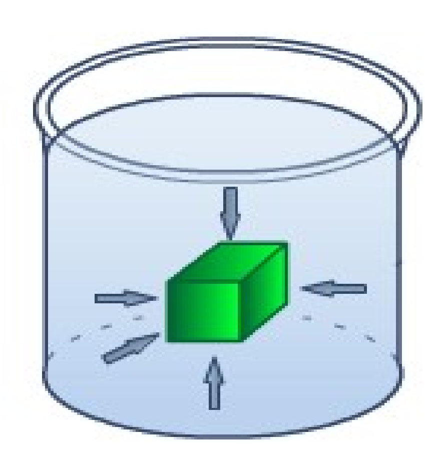
محتويات



تعلم المواضيع

- الضغط الكلي
- القوى المؤثرة على الأجسام المستوية المغمورة
- قاعدة باسكال
- قاعدة أرخميدس

الهيدروستاتيك



الهيدروستاتيك Hydrostatic

2-1 مقدمة Introduction

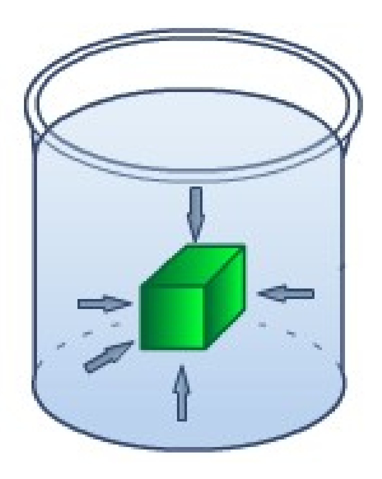
الهيدروستاتيك هو العلم الذي يعني بدراسة الموائع وهي في حالة سكون، وقوى الضغط المؤثرة فيها، وعندما يكون المائع في حالة سكون لا توجد هنالك حركة نسبية بين طبقات المائع المختلفة، وعليه فجميع الأجسام الحرة في الموائع الساكنة تؤثر عليها قوى الضغط العمودية وحسب.

يشغل هذا العلم حيزاً مهماً من موضوع ميكانيك الموائع لما له من تطبيقات واسعة في حياتنا اليومية مثل أجهزة قياس الضغط، المضخات المختلفة، بناء السدود، صناعة السفن، وغيرها من التطبيقات.

في الموائع الساكنة الضغط هو القوى السائدة في الموضوع كما مر ذكره، وقد تم تعريف الضغط في الفصل الأول وذكرت وحداته، في هذا الفصل سيتم تناول الضغط الكلي ومركز تأثيره وتغيرات الضغط وغيرها من المواضيع التي لا بد من الطالب أن يستوعبها بشكل صحيح لعلاقتها الوثيقة باختصاصه.

2-2 قاعدة باسكال Pascal's Rule

تنص قاعدة باسكال على أن **الضغط المسلط على أي جسم مغمور في مائع يكون متساوياً من جميع الجهات عند مستو معين**. يوضح الشكل (2-1) أدناه تأثير المائع على جسم ما مغمور في سائل، حيث تكون القوة عبارة عن قوى ضغط مسلطة عمودياً على الجسم من جميع الجهات كما يؤثر بقوة عمودية على جدران الإناء أيضاً.



شكل 2-1 تأثير قوى الضغط على الأجسام المغمورة

ولحساب مقدار الضغط في أي نقطة من السائل سنجد العلاقة من خلال حساب مقدار الضغط المؤثر على قاعدة الإناء الموضح في الشكل (2-2) المجاور.

القوة (F) = وزن عمود السائل (W)

= الكتلة (m) × التعجيل الأرضي (g)

بما أن الكتلة (m) = الكثافة (ρ) × الحجم (V)

الحجم (V) = مساحة السائل (A) × ارتفاع عمود السائل (h)

إذاً:

القوة (F) = الكثافة (ρ) × مساحة السائل (A) × ارتفاع عمود السائل (h) × التعجيل الأرضي (g)

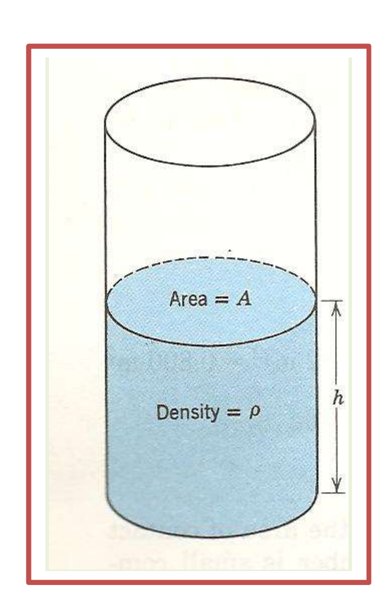
الضغط (P) = القوة (F) ÷ المساحة (A)

إذاً:

$$P = \rho \times h \times g$$

أو

$$P = \gamma \times h$$



شكل 2-2 مقدار الضغط في إناء

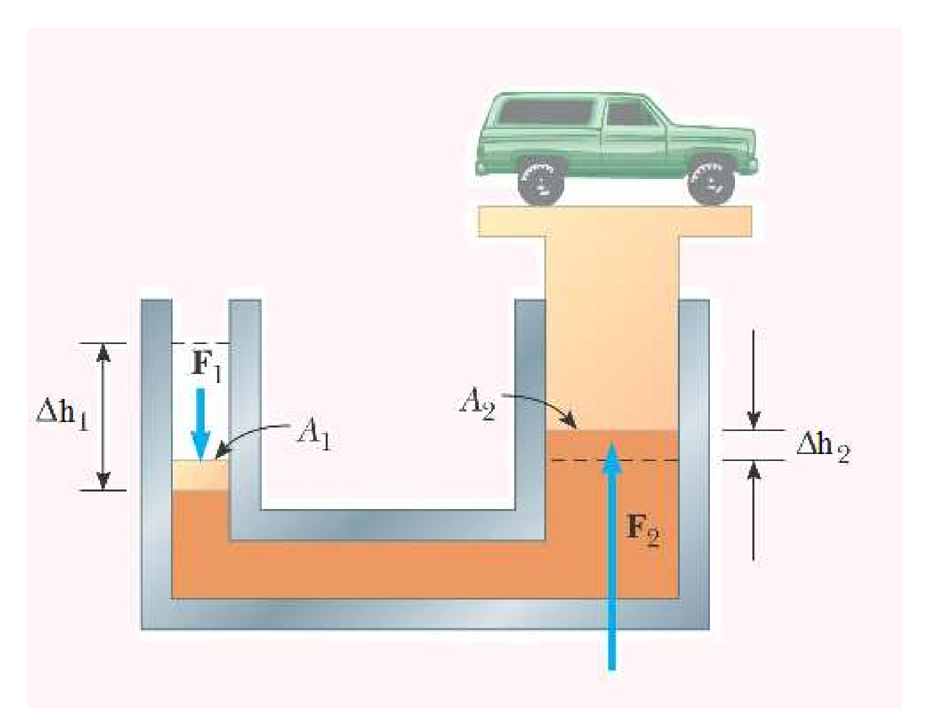


- الضغط يعتمد على ارتفاع عمود السائل وكثافته الوزنية

3-2 انتقال الضغط Pressure Transition

بالنظر إلى أن الضغط متساوي عند جميع النقاط ذات العمق المتساوي في السائل، فإن أي زيادة في الضغط على السطح يجب أن تنتقل إلى أي نقطة في السائل بصورة متساوية واعتماداً على قاعدة باسكال يمكن صياغة النص التالي حول انتقال الضغط في الأوعية المغلقة **الضغط الخارجي المطبق على سائل ضمن وعاء مغلق ينتقل دون أي نقصان إلى جميع نقاط السائل وإلى جدران الوعاء المغلق.**

وكتطبيق على هذه القاعدة الرافعة الهيدروليكية المبينة في الشكل (2-3).



شكل 2-3 الرافعة الهيدروليكية

نستنتج الآتي:

$P_1 = P_2$

$, F_1 \neq F_2 \ , A_1 \neq A_2 \ \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$

يمكن الاستفادة عملياً من هذا التطبيق بتسليط قوى صغيرة (F_1) لرفع أجسام ثقيلة مثل المركبات (F_2).

مثال 1

احسب القوة اللازمة لرفع سيارة وزنها (25) كيلو نيوتن باستعمال الرافعة الهيدروليكية، علماً ان مساحة الأسطوانة الصغيرة (25) سم^2، ومساحة الأسطوانة الكبيرة (2500) سم^2، لاحظ الشكل (2-3).

الجواب

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$25\ kN = 25000\ N$$

$$F_2 = F_1 \times \frac{A_2}{A_1}$$

$$25000 = F_1 \times \frac{2500}{25}$$

$$F_1 = 250\ N$$



في مثل هذه التطبيقات عزيزي الطالب حول موضوع انتقال الضغط يستخدم زيت الهيدروليك كمائع نموذجي لامتلاكه الخواص التالية:

- قوة الاحتكاك بين المائع والجدران الداخلية للأنابيب قليلة جداً.
- ذو لزوجة واطئة جداً حتى في درجات الحرارة الواطئة يساعد ذلك على سرعة حركته وسهولتها.
- الضغط التبخيري للمائع يكون عالي يساعد ذلك كي لا يتبخر منه شيء.
- غير سام وغير سريع الاشتعال.

4-2 قاعدة أرخميدس Archimedes Rule

تنص قاعدة أرخميدس على أنه **إذا غمر جسم جزئياً أو كلياً في مائع فأنه يفقد من وزنه بقدر وزن المائع المزاح**. هنالك الكثير من التطبيقات العملية على هذه القاعدة سيتم الإشارة إليها.

وبصيغة أخرى فأن قوة الطفو على جسم مغمور في مائع تساوي وزن المائع المزاح، وبذلك يتضح بأن أي جسم عندما يغمر في مائع تؤثر فيه قوتان وكالآتي:

- وزن الجسم (W) ويكون متجهاً عمودياً إلى الأسفل.
- قوة الطفو (Buoyancy Force) (F_B) وهي وزن المائع المزاح وتكون عمودية ومتجهة إلى الأعلى.

وحسب التطبيقات العملية فإن الأجسام تكون على حالتين الأولى أن تكون الأجسام مغمورة جزئياً في الموائع كما في السفن والأخرى مغمورة كلياً، لاحظ الشكل (4-2)، إذ تبين التدرجات المثبتة على جانب السفن عمق الغاطس.



شكل 2-4 تطبيق قاعدة ارخميدس (السفن)



يتغير مقدار عمق الغاطس في السفن اعتماداً على مقدار حمولة السفن إذ يزداد مقداره بزيادة الحمولة.

وعليه تطبق قاعدة أرخميدس كما مبين أدناه:

1. **الأجسام المغمورة جزئياً في المائع (الأجسام الطافية)**، لاحظ الشكل (5-2-أ)

وزن الجسم في الهواء – وزن الجسم في المائع = وزن المائع المزاح

وزن الجسم الطافي في المائع = صفر

وزن الجسم الطافي في الهواء – صفر = وزن المائع المزاح

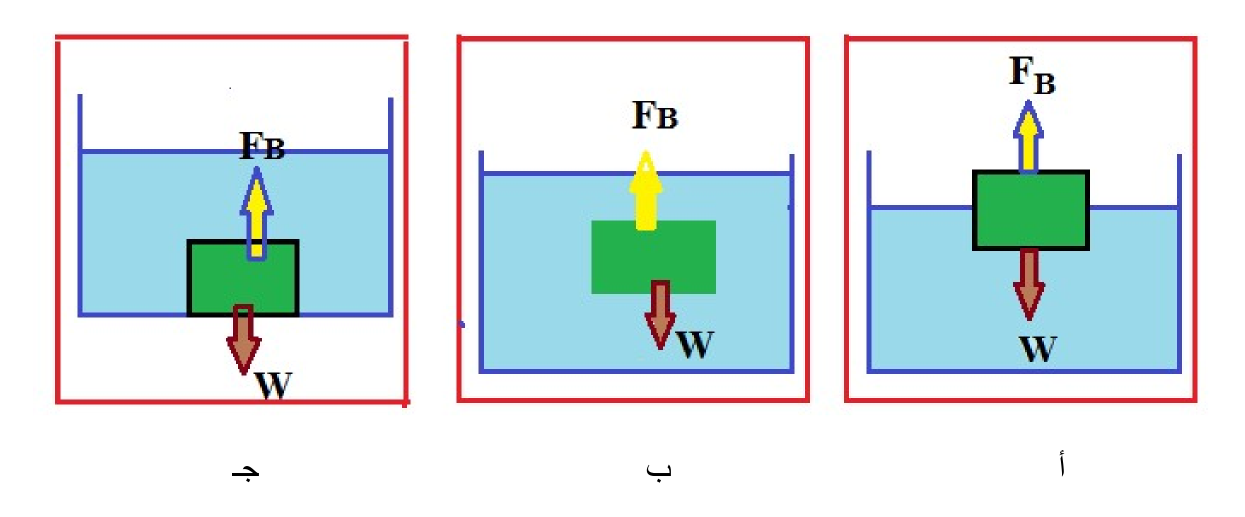
وزن الجسم الطافي (القوة الصعودية) (W) = حجم الجزء المغمور (V) × الكثافة الوزنية للمائع (ρ)

2. **الأجسام المغمورة كلياً في المائع**، لاحظ الشكلين (5-2-ب) و(5-2-ج)

القوة الصعودية للمائع = وزن المائع المزاح

وزن الجسم في الهواء – وزن الجسم في المائع = وزن المائع المزاح

وزن الجسم في الهواء – وزن الجسم في المائع = حجم السائل المزاح (V) × الكثافة الوزنية للمائع (ρ)



شكل 2-5 حالات قاعدة أرخميدس



- إذا كانت كثافة الجسم أقل من كثافة المائع فإن الجسم يطفو على سطح المائع.
- إذا كانت كثافة الجسم أكبر من كثافة المائع فإن الجسم يغطس كلياً في المائع.
- إذا كانت كثافة الجسم تساوي كثافة المائع فإن الجسم سيبقى معلقاً في حالة توازن داخل المائع.

مثال 2

اِحسب ارتفاع الغاطس (h) في عوامة نهرية والموضحة في الشكل (2-6)، إذا كان طولها يساوي (12) م وعرضها (6) م وارتفاعها (3) م، وثقلها مع الحمل (1000) كيلو نيوتن.

حجم الماء المزاح (V_L) يساوي

$V_L = 12 \times 6 \times h$

$= 72\ h$

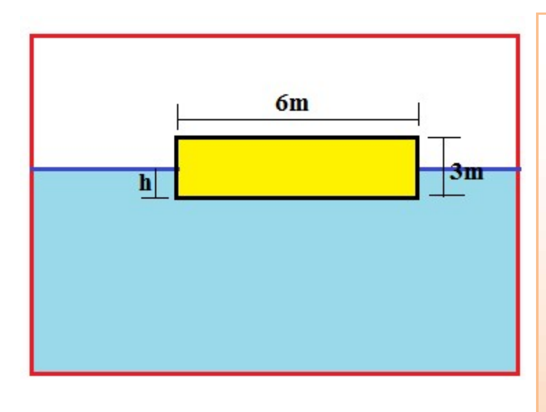
$W = \gamma \times V_L$

$1\ 000\ 000 = \gamma_w \times 72\ h$

$\gamma_w = 9800\ N/m^3$

$1\ 000\ 000 = 9800 \times 72\ h$

$h = 1.4\ m$



شكل 2-6 عوامة نهرية (مثال 2)

أسئلة الفصل الثاني

س1) املأ الفراغات الآتية بما يناسبها:

1. ينتقل الضغط المسلط على مائع محصور في جميع الاتجاهات ومن غير نقصان اعتماداً على قاعدة ....
2. يتوقف مقدار الفقدان من وزن الجسم الغاطس في مائع ما على ....
3. من أهم التطبيقات العملية على قاعدة أرخميدس ....
4. إذا غمر جسم وزنه (W) في مائع وبقي معلقاً داخل المائع في حالة توازن، معناه أن القوة الصعودية (F).........................وزنه.

س2) حوض سباحة على شكل متوازي المستطيلات طوله (20) م وعرضه (15) م وارتفاع الماء فيه (5) م، إحسب

1. الضغط على قاعدة الحوض.
2. القوة المؤثرة على القاعدة.

س3) مكبس في جهاز هيدروليكي مساحة مكبسه الكبير (20) مرة بقدر مساحة مكبسه الصغير، فإذا كانت القوة المسلطة على المكبس الكبير (5000) نيوتن، إحسب القوة المسلطة على المكبس الصغير.

الفصل الثالث

معادلات الطاقة

Energy Equations

الفصل 3

محتويات

- المائع المثالي
- معادلة الإستمرارية في الموائع
- معادلة الطاقة
- الطاقة الحركية
- الطاقة الكامنة
- معادلة برنولي
- خط الإنحدار الهيدروليكي وخط الطاقة
- أدوات قياس الجريان

معادلات الطاقة



معادلات الطاقة Energy Equations

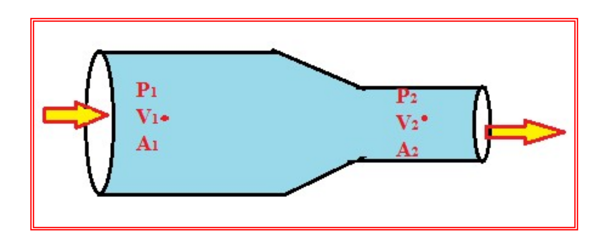
1-3 المائع المثالي Ideal Fluid

في بعض الحالات ولتسهيل البحوث والدراسات يُلجأ إلى اعتبار المائع بأنه مائع مثالي، ويمكن وصف المائع بالمثالي إذا اتصف بما يأتي:

- **غير قابل للإنضغاط** أي لا يمكن ضغطه فكثافته تبقى ثابتة في أثناء جريانه.
- **جريانه منتظم** أي أن سرعة جريان دقائق المائع عند نقطة معينة تبقى ثابتة مع الزمن في المقدار والإتجاه.
- **عديم اللزوجة** إذ تُعد اللزوجة مقياساً للاحتكاك الداخلي في المائع عند جريانه لذلك نفترض إن لزوجة المائع تساوي صفراً.
- **غير دوراني أو دوامي** أي أن جريانه غير اضطرابي أي لا تتداخل خطوط جريانه فلا تكون فيها دوامات.

2-3 معادلة الاستمرارية في الموائع Continuity Equation in Fluid

تنص معادلة الاستمرارية على أن **معدل تدفق (Discharge) كمية المائع من أي مقطع داخل الأنبوب يبقى ثابتاً**، وفي حالة الجريان الانسيابي للموائع المثالية يمكن تحقيق هذه المعادلة وهي صحيحة على طول الأنبوب الأفقي، وكما مبين في الشكل (3-1).



شكل 3-1 جريان مائع داخل أنبوب متغير المقطع

يمكن التعبير عن معدل التدفق بدلالة نسبة الحجم للزمن ويرمز له (Q) ووحداته هو (m^3/s)، أو يعبر عنه بدلالة نسبة الكتلة للزمن ويرمز له ($\dot{m}$) ووحداته هو (kg/s). فإذا كانت سرعة المائع تمثل (v) ومساحة مقطع الأنبوب (A) فإن معدل التدفق تساوي:

$$Q = A \times v$$

ولحساب معدل التدفق الكتلي تستخدم المعادلة التالية:

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

حيث (ρ) تمثل كثافة المائع ووحداتها هي (m^3/kg) كما تم ذكره في الفصل الأول.

وعليه يمكن التعبير عن معادلة الاستمرارية لجريان الموائع حسب النص الذي تم ذكره في بداية هذه الفقرة كالآتي:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \longrightarrow \rho_1 \times A_1 \times v_1 = \rho_2 \times A_2 \times v_2$$

وفي حالة السوائل (الموائع الغير قابلة للإنضغاط) يمكن إعتبار الكثافة ثابتة على طول الجريان ولا تتغير وهذا عملياً صحيح عند الجريان بسرع واطئة نسبياً (ليست عالية)، تصبح المعادلة أعلاه كالآتي بعد حذف الكثافة من حدود المعادلة:

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$$

مثال 1

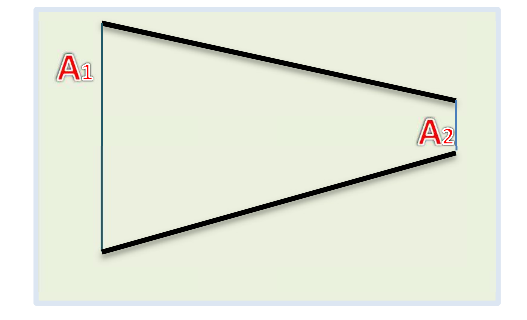
أنبوب متغير المقطع الموضح في الشكل (2-3) يجري فيه سائل بمعدل تدفق (0.008 م^3 / ثا)، إذا كان قطر المقطع الأول (100 ملم) والثاني (50 ملم)، جِد معدل السرعة بالمقطعين.

الجواب

$$Q = v \times A = A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 = 0.008\ m^3/s$$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.008}{(\pi \times (0.1)^2)/4} = 1.02\ m/s$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0.008}{(\pi \times (0.05)^2)/4} = 4.07\ m/s$$

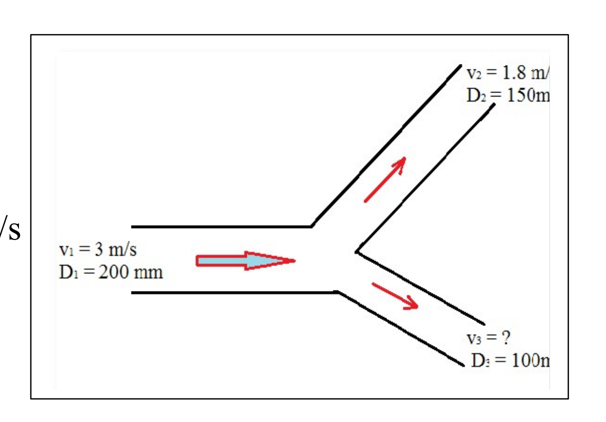


شكل 3-2 أنبوب متغير المقطع (مثال 1)

مثال 2

الشكل (3-3) يوضح أنبوب قطره (200) ملم ينقل ماء ويتفرع منه أنبوبين بإقطار (150، 100) ملم على التوالي، جِد السرعة في الأنبوب الثاني.

الجواب



شكل 3-3 أنبوب متفرع (مثال 2)

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 = A_1 \times v_1 = \frac{\pi}{4} \times 0.2^2 \times 3 = 0.094 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = A_2 \times v_2 = \frac{\pi}{4} \times 0.15^2 \times 1.8 = 0.032 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 0.094 - 0.032 = 0.062 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{A_3} = \frac{0.062}{(\pi\,(0.1)^2)/4} = 7.9 \text{ m/s}$$

3-3 معادلة الطاقة Energy Equation

للطاقة أشكال أو صور عديدة بصورة عامة، وفي هذه المرحلة الدراسية وفي موضوع جريان الموائع سيتم االتطرق لموضوع طاقة الحركة والطاقة الكامنة وطاقة الضغط. لقد تم شرح موضوع الضغط في الفصل الأول وسيتم تناول الطاقة الحركية والطاقة الكامنة في هذه الفقرة.

1-3-3 الطاقة الحركية Kinetic Energy

لعلك شاهدت على شاشة التلفاز الآثار المدمرة التي تخلفها الرياح والأعاصير والفيضانات في مناطق مختلفة من العالم. ولابد انك تستنتج من ذلك أن هذه الرياح والمياه المتحركة تمتلك كمية كبيرة من الطاقة تكفي لتدمير مجمعات سكنية بأكملها. يُسمى هذا الشكل من الطاقة التي تمتلكها الأجسام بسبب حركتها الطاقة الحركية، ولهذا تُعرف الطاقة الحركية للجسم على أنها الطاقة الناتجة بسبب سرعته، عليه فإن أي جسم يتحرك يمتلك طاقة حركية، ويستطيع أن ينجز شغلاً نتيجة طاقته الحركية. وتُحسب الطاقة الحركية من المعادلة التالية:

$$KE = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

إذ إن:

KE	الطاقة الحركية	J جول
m	كتلة الجسم	kg كغم
v	السرعة	m/s م/ثا

2-3-3 الطاقة الكامنة (الوضع) Potential Energy

تُعرف الطاقة الكامنة بأنها قدرة الجسم على إنجاز شغل ما اعتماداً على موقع جزيئاته بعضها من بعض، أو على موقعه بالنسبة لأجسام أخرى مثل الكرة الأرضية. عند رفع كمية من الماء من الخزان السفلي إلى الخزان العلوي، فإننا نبذل لرفعه شغلاً ضد الجاذبية الأرضية، ويخزن هذا الشغل على شكل طاقة كامنة بسبب تغير موقعه من سطح الأرض، يستفاد من هذه الطاقة المخزونة في الماء بالحصول على تدفق جريان الماء بسرع عالية ومنتظمة لكل منافذ التغذية في البناية أي تحولها من طاقة موضع إلى طاقة حركية.

وتُحسب الطاقة الكامنة من المعادلة التالية:

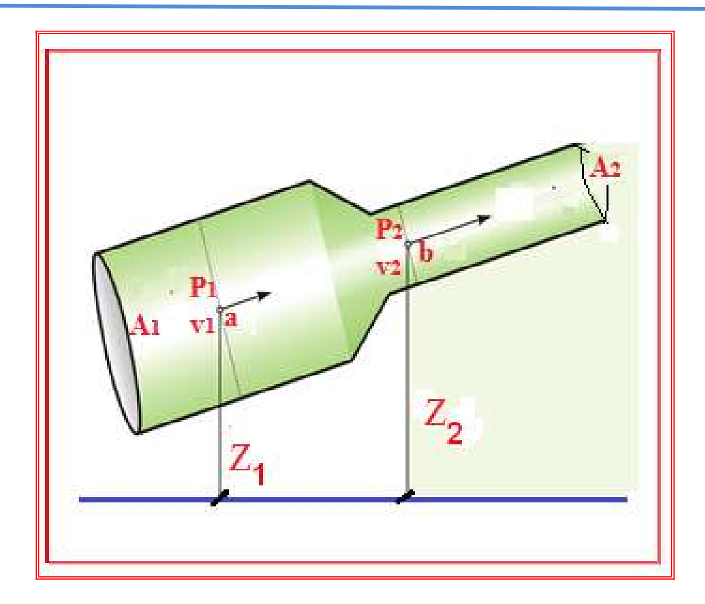
$$PE = m \times g \times Z$$

إذ أن:

PE	الطاقة الكامنة	J جول
g	التعجيل الأرضي	m/s^2 م/ثا^2
Z	ارتفاع الجسم عن سطح الأرض	m م

4-3 معادلة برنولي Bernoulli's Equation

اشتق العالم برنولي معادلته المعروفة باسمه التي استند فيها على أساس أن **ضغط المائع يتغير بتغير سرعته**، وعلى افتراض إن المائع عديم اللزوجة وغير قابل للانضغاط ويجري جرياناً انسيابياً (**مائع مثالي**)، أي أن معادلة برنولي هي حالة خاصة من معادلة الطاقة لجريان الموائع الحقيقية التي سيتم ذكرها في الفصل القادم والتي تتضمن حدود أخرى إضافة لحدود معادلة برنولي. الشكل (3-4) يوضح جريان مائع مثالي داخل أنبوب مساحة مقطعه غير منتظمة ويختلف ارتفاع أجزائه عن مستوى معين، ولنفترض إن ضغط المائع عند النقطة (a) يساوي (P_1) ومساحة مقطع الأنبوب في هذه النقطة (A_1) ومقدار سرعته هو (v_1) ويبلغ ارتفاع مركز المقطع عن مستوى أفقي معين (Z_1)، بينما عند النقطة (b) فإن ضغطه يساوي (P_2) ومساحة مقطع الأنبوب في هذه النقطة (A_2) ومقدار سرعته يساوي (v_2) وارتفاع مركز المقطع عن المستوى الأفقي ذاته (Z_2).



شكل 3-4 تطبيق معادلة برنولي على جريان المائع

وعليه يمكن كتابة نص معادلة برنولي بالصيغة الآتية:

مجموع طاقة الجريان والطاقة الكامنة والطاقة الحركية لأي جزيئة من مائع ما يجري في مسار معين يظل ثابتاً عند أي مقطع على طول ذلك المسار، إن لم يكن هنالك فقدان أو اكتساب للطاقة من محيط المسار.

لغرض تجانس حدود معادلة برنولي يتم تحوير مقادير الطاقات المذكورة أعلاه بحيث تصبح طاقات نوعية نسبة إلى وزن المائع وتحسب بوحدات الطول (م)، وكالآتي:

- طاقة الضغط

$$\frac{\mathbf{P}}{\boldsymbol{\gamma}} = \frac{N/m^2}{N/m^3} = (m) \text{ متر}$$

- الطاقة الحركية

$$\frac{\mathbf{KE}}{\mathbf{w}} = \frac{\frac{1}{2}\times m\times v^2}{w} = \frac{\frac{1}{2}\times m\times v^2}{m\times g} = \frac{v^2}{2g} = \frac{(m/s)^2}{2\times m/s^2} = (m) \text{ متر}$$

- الطاقة الكامنة

$$\frac{\mathbf{PE}}{\mathbf{w}} = \frac{m\times g\times Z}{m\times g} = Z\ (m) \text{ متر}$$

إذ أن w تمثل وزن المائع وكذلك g تمثل التعجيل الأرضي، أما بقية الرموز فقد عُرفت سابقاً.

تصبح الصيغة الرياضية لمعادلة برنولي بين مقطعين في مسار جريان مائع ما كالآتي:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

مثال 3

يجري سائل كثافته النوعية (1.26) في أنبوب بمعدل (700) لتر\ثا، إذا كان الضغط عند النقطة التي فيها قطر الأنبوب (60) سم يساوي (300) كيلو نيوتن\ م^2، جد الضغط عند النقطة التي يصبح فيها قطر الأنبوب يساوي (30) سم وتنخفض عن مستوى النقطة الأولى بمسافة متر واحد.

الجواب

$$700\ \ell / s = 0.7\ m^3/s$$

$$Q = A_1 \times v_1 \quad \Longrightarrow \quad v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.7}{\frac{\pi}{4}\times 0.6^2} = 2.48\ m/s$$

$$Q = A_2 \times v_2 \quad \Longrightarrow \quad v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0.7}{\frac{\pi}{4}\times 0.3^2} = 9.92\ m/s$$

وبتطبيق معادلة برنولي بين المقطعين 1 و2

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

$$\frac{300\ 000}{1.26\times 9810} + \frac{2.48^2}{2\times 9.81} + 1 = \frac{P_2}{1.26\times 9810} + \frac{9.92^2}{2\times 9.81} + zero$$

$$P_2 = 254.5\ kN/m^2$$

مثال 4

أنبوب بقطر (200) ملم يضيق قطره ليصبح (100) ملم، إذا كان الأنبوب ينقل ماء والضغط عند القطر الأكبر (400) كيلو باسكال وعند القطر الأصغر (250) كيلو باسكال، جِد التصريف المار في الأنبوب.

الجواب

بتطبيق معادلة الاستمرارية:

$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$

$v_1 = \frac{A_2}{A_1} \times v_2 = \frac{\frac{\pi}{4} D_2^2}{\frac{\pi}{4} D_1^2} \times v_2 = (\frac{D_2}{D_1})^2 \times v_2 = (\frac{100}{200})^2 \times v_2$

$v_1 = \frac{1}{4} v_2$

بتطبيق معادلة برنولي بين النقطتين (1،2)

$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$

$Z_1 = Z_2$ نفس المنسوب

$\frac{400\,000}{9810} + \frac{\frac{1}{4} \times v_2^{\;2}}{2 \times 9.81} = \frac{250000}{9810} + \frac{v_2^2}{2 \times 9.81}$

$\frac{v_2^2}{2 \times 9.81} = 16.31 \text{ m}$

$v_2 = \sqrt{2 \times 9.81 \times 16.31} = 17.9 \text{ m/s}$ ⟹ $v_1 = \frac{1}{4} v_2 = \frac{1}{4} \times 17.9 = 4.5 \text{ m/s}$

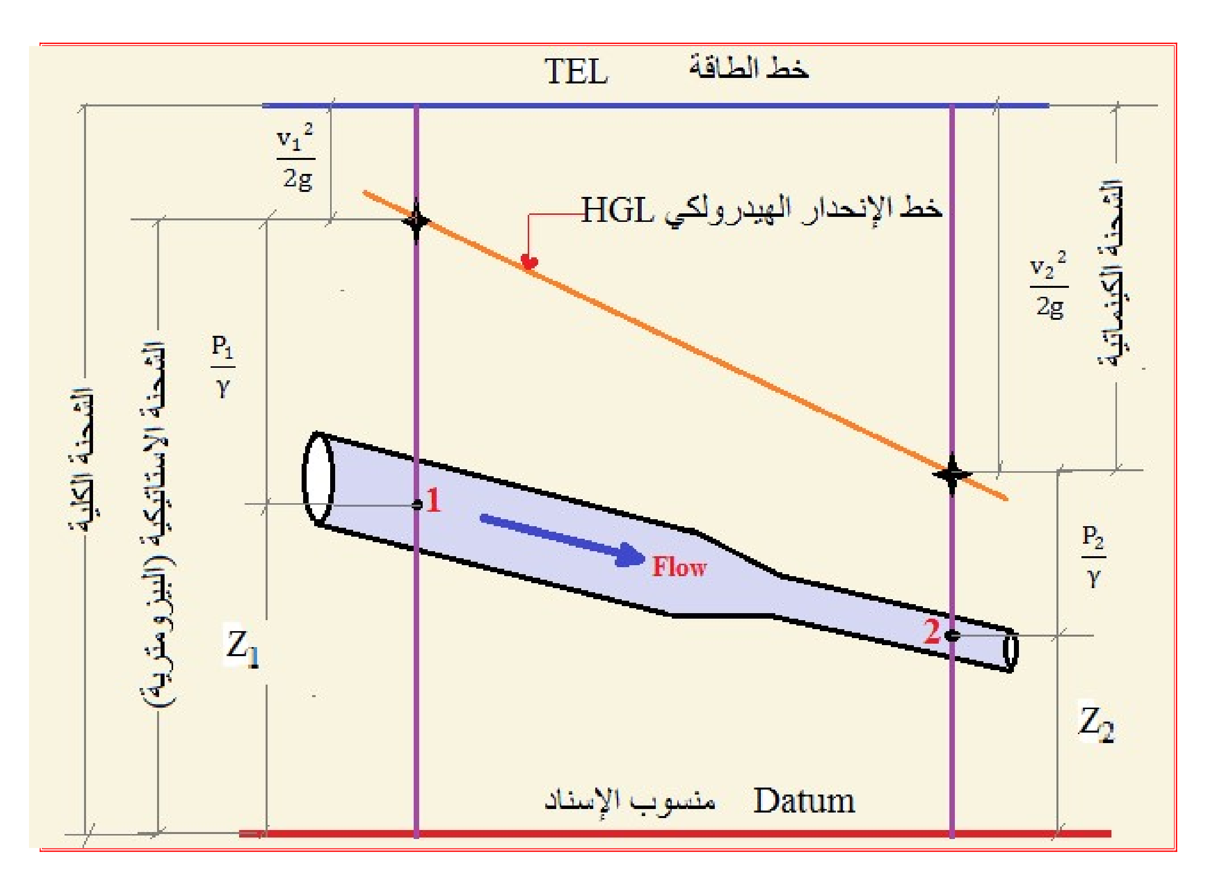
$Q = A_2 \times v_2 = \frac{\pi}{4} \times 0.1^2 \times 17.9 = 0.14 \text{ m}^3/\text{s}$

5-3 خط الإنحدار الهيدروليكي وخط الطاقة

Hydraulic Grade and Energy Lines

يوضح الشكل (3-5) خط الإنحدار الهيدروليكي والذي يرمز له أختصاراً (HGL)، وهو مجموع الحدين $(h + \frac{P}{\gamma})$ ويمثل الشحنة الاستاتيكية وتسمى الشحنة البيزومترية نسبة إلى أحد أنواع مقاييس ضغط الموائع (البيزومتر Piezometer) وهو أنبوب شفاف مدرّج بمقياس معين مثبت على فتحة في سطح أنبوب الجريان ويرتفع فيه السائل بمقدار هذه الشحنة.

أما خط الطاقة الكلي الذي يرمز له اختصاراً (TEL) وهو مساوٍ لمجموع حدود أحد أطراف معادلة برنولي ويمثل بخط أفقي دائماً في حالة عدم وجود أي نوع من أنواع خسائر الجريان (الضائعات) وبقية حدود معادلة الطاقة الأخرى وبمعنى آخر أنه يمثل الشحنة الكلية أي مجموع كل من الشحنتين (الكينماتية والاستاتيكية) $(\frac{P}{\gamma} + Z + \frac{v^2}{2g})$.



شكل 3-5 خطي الطاقة والإنحدار الهيدروليكي

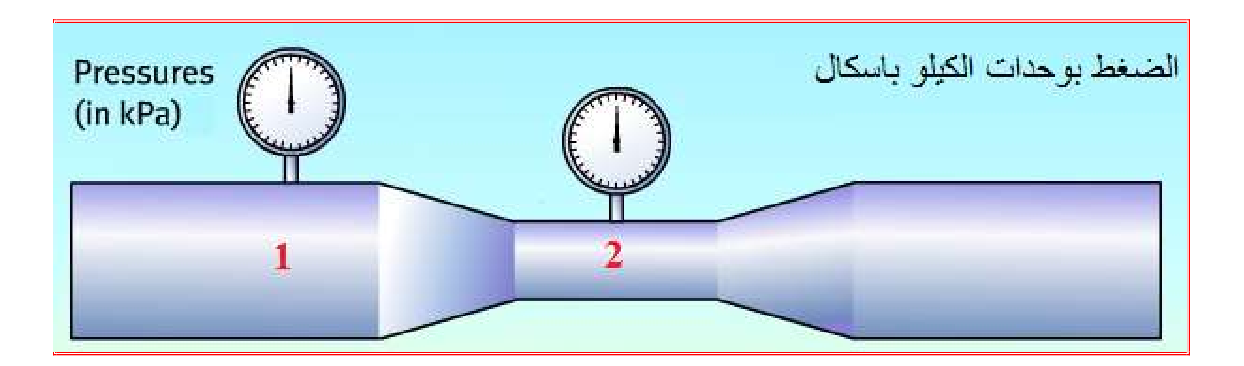
3-6 مُعدات قياس الجريان Flow Measurement Equipment

يستند تشغيل معظم مقاييس الجريان إلى معادلة برنولي، إذ يستخدم تضييق في مجرى المائع لتوليد هبوط في الضغط مصحوب بزيادة في السرعة، ومن المعروف إن معدل الجريان دالة لهبوط الضغط، لذا نستطيع تقويمه من معرفة مقدار هبوط الضغط الذي يُقرأ عادة باستعمال المانومتر.

مقياس فنجوري (Venturi Meter)

يعُد أنبوب فنجوري أحد أهم التطبيقات العملية لمعادلة برنولي الذي يمكن بواسطته قياس سرعة مائع معين كثافته (ρ)، ينساب خلال أنبوب أفقي مساحة مقطعه متغيرة، إذ يقاس فرق الضغط بين النقطتين (1,2) باستعمال المانومتر الزئبقي، لاحظ الشكل (3-6) ويمكن قياس سرعة المائع بمعرفة مقدار فرق الضغط بين النقطتين (1،2) والذي يمثله مقدار فرق الارتفاع (Z) وعندها نطبق المعادلة التالية:

$$P_1 - P_2 = \rho \times g \times Z$$



شكل 3-6 مقياس فنجوري

مثال 5

إذا كان فرق الارتفاع في فرعي المانومتر الزئبقي يساوي (2.5) سم، احسب فرق الضغط بين مقطعي مقياس فنجوري، مع العلم أن كثافة الزئبق تساوي (13600) كغم/ م^3.

الجواب

$$P_1 - P_2 = \rho \times g \times Z$$

$$= (13600\ kg/\ m^3) \times (9.8\ N/\ kg) \times (0.025\ m)$$

$$P_1 - P_2 = 3332\ N/\ m^2 = 3.33\ kPa$$

أنبوب بيتوت (Pitot Tube)

يتكون أنبوب بيتوت من أنبوبة مصنوعة من الفولاذ المقاوم للتآكل (Stainless Steel) تشكل نهايتها زاوية قائمة، يتراوح قطرها من (2-4) ملم وفي بعض التطبيقات يكون قطرها أكبر من (5) ملم، وكما مبين في الشكل (3-7)، وتتكون أنبوبة بيتوت من أنبوبين متداخلين، الأنبوب الداخلي يحتوي على ثقب واحد في بدايته، يقوم بقياس الشحنة الكلية (الشحنتين الاستاتيكية والكينماتية)، أما الأنبوب الآخر المحيط بالأنبوب الداخلي فيحتوي على أربعة ثقوب موزعة بمسافات متساوية على محيط الأنبوب، يستفاد منها لقياس الشحنة الاستاتيكية داخل مجرى المائع. والفرق بين الشحنتين الكلية والاستاتيكية هو الشحنة الكينماتية (شحنة سرعة المائع).



شكل 3-7 أنبوبة بيتوت



قوة رفع الطائرة

من أحد أهم التطبيقات العملية في موضوع تحويل الشحنة الكينماتية (شحنة سرعة المائع) إلى شحنة ضغط هو قوة رفع الطائرة، إذ أن لجناح الطائرة شكلاً انسيابياً يؤدي عند تحركها إلى الأمام إلى جريان تيار الهواء بنمطين مختلفين على سطحي جناح الطائرة، مما يجعل سرعته على السطح العلوي أعلى من سرعته على السطح السفلي. ولذلك يكون الضغط على السطح الأسفل أكبر من الضغط على السطح الأعلى يؤدي ذلك إلى تولد فرق في الضغط بين سطحي جناح الطائرة ونشوء قوة في الاتجاه العمودي (**قوة الرفع**) تساعد على رفع الطائرة.

أسئلة الفصل الثالث

س1) عدد أنواع الطاقة لمائع متحرك واِذكر رمز كل منهم.

س2) ماذا يقصد بشحنة الطاقة في نقطة معينة في مائع.

س3) اكتب معادلة برنولي واِذكر محددات استخدامها.

س4) قارن بين الطاقة وشحنة الطاقة.

س5) قارن بين الشحنة الإستاتيكية والشحنة الكينماتية.

س6) كيف يتم التمييز بين خط الإنحدار الهيدروليكي وخط الطاقة.

س7) يجري مائع في أنبوبة أفقية كالتي مبينة في الشكل (3-4) ذات مقطعين نصف قطر المقطع الصغير (3.5) سم وبسرعة (4) م/ثا، ونصف قطر مقطعه الكبير (7) سم. احسب مقدار سرعة جريان المائع في الأنبوب الكبير.

ج/ (1 m/s)

س8) أنبوب طوله (400) م قطره في النهاية العليا (1.2) م وفي النهاية السفلى (0.6) م، إن ميل الأنبوب هو متر واحد لكل مئة متر، ينقل الأنبوب الماء بمعدل تدفق (1.25) م^3/ثا، إذا كان الضغط في النهاية العليا (75) كيلو باسكال، جِد الضغط في النهاية السفلى، اِهمل الخسائر.

ج/ (105.1 kPa)

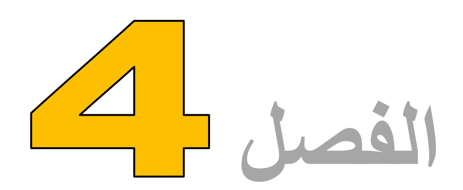
س9) أنبوب شاقولي طوله (150) م يتغير قطره من (150) ملم في أعلى الأنبوب إلى (75) ملم في أسفله، إذا كان معدل التدفق يساوي (25) لتر/ثا، جِد الفرق بالضغط بين أعلى وأسفل الأنبوب.

ج/ (0.3 kPa)

الفصل الرابع

الجريان وفواقد الطاقة

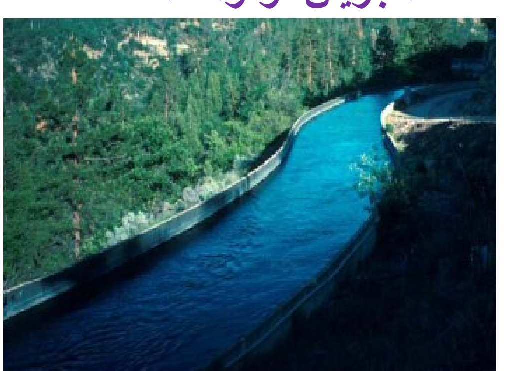
Flow & Energy Losses



محتويات

تعلم المواضيع

الجريان وفواقد الطاقة





- ❖ الجريان وأنواعه.
- ❖ معادلة الجريان.
- ❖ خواص أنواع الجريان المنتظم.
- ❖ حساب الضائعات الرئيسية والثانوية.
- ❖ ربط الأنابيب على التوالي والتوازي.

1-4 مقدمة Introduction

يختص جزء مهم من ميكانيك الموائع بدراسة حالة جريان الموائع، المتمثلة في حركة الرياح، جريان الماء في الأنابيب، الدم في الأوعية والشرايين، وكافة الموائع في الأنابيب والمعدات الصناعية، ويُعد الجريان في الأنابيب جانباً أساسياً في دراسة وتصميم المعامل ومحطات تصفية ومعالجة المياه، إذ يوجد في كل محطة شبكة من الأنابيب تنتقل فيها المياه بين المحطات الثانوية والرئيسية.

تمتاز الموائع بقدرتها على الجريان عندما تؤثر فيها القوى حتى وإن كانت صغيرة. تعتمد تحليلات الجريان على نوع المائع، ولكل حالة هنالك دراسة متخصصة تهدف إلى إيجاد علاقات رياضية يمكن من خلالها تحديد نوع الجريان وتخمين هبوط الضغط في القنوات والأنابيب وبالتالي امكانية حساب مساحة مقطع القنوات أو اقطار الأنابيب اللازمة لنقل مائع معين بمعدل جريان معين حسب التصميم المطلوب.

2-4 أنواع الجريان Flow Types

يندفع أي مائع في أنبوب معين أو قناة بتأثير الضغط، ثم يتخذ نمطاً معيناً نتيجة تأثير إجهادات القص وقوة الاستمرارية، يُعرف المائع الحقيقي بأنه المائع الذي لا يمكن اهمال لزوجته عند حسابات الجريان (مساحة المقاطع، معدل تدفق المائع، وغيرها). وعند جريان المائع الحقيقي فإن لزوجته تسبب احتكاكاً بين طبقات المائع من جهة وبين المائع والسطح الذي يجري فيه المائع من جهة أخرى. لتأمين استمرارية الجريان لا بد من توفير طاقة مناسبة لحدوث الجريان والسيطرة على نوع الجريان. علماً أن جزء من الطاقة المجهزة سوف تتحول إلى طاقة حرارية (خسائر) قد تسبب زيادة قليلة في درجة حرارة المائع، وباقي الطاقة سوف يستهلك أثناء الجريان بسبب الخسائر الرئيسة والثانوية والتي سوف يتم التطرق إليها في هذا الفصل.

ولوصف جريان مائع ما عند لحظة معينة من الزمن يجب معرفة كثافته وضغطه وسرعة جريانه.

وعليه يمكن تصنيف حالات الجريان كالآتي:

1. **الجريان المنتظم (Uniform Flow)** يُعد الجريان منتظماً عندما تكون سرعته ثابتة المقدار والاتجاه في جميع نقاط المائع في تلك اللحظة.

2. **الجريان غير المنتظم (Non-Uniform Flow)** يُعد الجريان غير منتظماً إذا تغيرت سرعته من نقطة إلى أخرى أو اتجاهه أو الاثنان معاً.

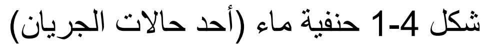
3. **الجريان المستقر (Steady Flow)** تطلق هذه التسمية إذا كان الجريان ثابت المقدار مع الزمن.

4. **الجريان غير المستقر (Un-Steady Flow)** وهو الجريان متغير المقدار مع الزمن.

أن الفرق بين حالتي الجريان الأولى والثانية (المنتظم وغير المنتظم) والحالتين الثالثة والرابعة (المستقر والغير مستقر) هو اعتماد الحالتين الأوليتين على الموقع (المكان) ولا علاقة لهم في الزمن كما في الحالتين الثالثة والرابعة.

كمثال توضيحي على حالتي الجريان المستقر وغير المستقر، عند فتح حنفية الماء الموضحة في الشكل (1-4) ادناه فإن جريان الماء من الحنفية يعتبر جرياناً غير مستقر طالما هنالك استمرارية في فتح صمام الحنفية لزيادة كمية تدفق الماء ويصبح الجريان مستقراً عند التوقف عن فتح أو غلق الصمام (تثبيت فتحة صمام الحنفية).





شكل 1-4 حنفية ماء (أحد حالات الجريان)



من الجدير بالملاحظة أنه من الممكن أن تجمع حالة الجريان بين أكثر من حالة من الحالات التي تم ذكرها، فقد يكون الجريان مثلاً منتظم ومستقر (Steady State Uniform Flow) كجريان الماء في أنبوب طويل دون تغير في مقطعه وبمعدل تدفق ثابت، أو جريان غير منتظم ومستقر (Steady State Non-Uniform Flow) كجريان الماء في انبوب ذي مساحة مقطع متغيرة وبمعدل تدفق ثابت، أو جريان منتظم وغير مستقر مثل جريان الماء في انبوب طويل وثابت المقطع مع تغير في معدل تدفقه (Un-Steady State Uniform Flow)، أو جريان غير منتظم وغير مستقر (Un-Steady State Non-Uniform Flow) مثل جريان الماء في أنبوب متغير المقطع وبمعدل تدفق متغير أيضاً.

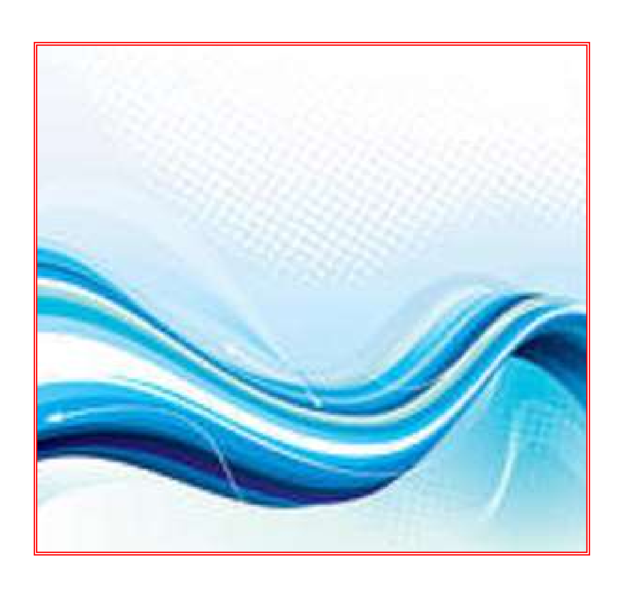
ويقسم الجريان بصورة رئيسة إلى:

1. **الجريان الطباقي (Laminar Flow)** عندما يكون الجريان انسيابياً وهادئاً.
2. **الجريان الإضطرابي (Turbulent Flow)** عندما يكون الجريان مضطرب (غير هادئ) لحد يثير الدوامات.

3-4 الجريان الطباقي Laminar Flow

يتحرك المائع في هذا النوع من الجريان بحيث تنزلق جسيماته بعضها على بعض من دون تداخل في مساراتها، فكأنها تتحرك بطبقات أو شرائح بعضها إزاء بعض، ومن هنا جاءت تسمية هذا النوع، كما هو موضح في الشكل (4-2). وفي هذا النوع من الجريان تكون قوى اللزوجة أعلى نسبياً من قوى القصور الذاتي حيث يكون الفرق في القوى كبيراً ويمكن إهمال قوى القصور الذاتي لصغر قيمتها، وفيه لا يحدث امتزاج إلا على نطاق الجزئيات وهو امتزاج صغير جداً خلافاً لما يحدث في الجريان الإضطرابي يكون الامتزاج شديداً مكوناً الدوامات (Eddies). إن اللزوجة هي من خواص المائع أما نوع الجريان (طباقي أو اضطرابي) فذلك من خصائص الجريان وليس المائع، إذ يمكن مشاهدة جريان لمائع ما بنمط طباقي في وقت معين ويكون مضطرباً في وقت آخر للمائع نفسه.

ومن تطبيقات هذا النوع من الجريان حركة الدم في الأوعية الدموية وحركة المياه الجوفية بين دقائق التربة وحركة زيوت التشحيم (اللزجة) في المسارات الضيقة بين أجزاء المكائن وغيرها من التطبيقات العديدة.



شكل 4-2 نمط لجريان طباقي

4-4 الجريان الإضطرابي Turbulent Flow

وهو من أكثر أنواع جريان الموائع شيوعاً في التطبيقات الهندسية العملية، ففيه يحدث امتزاج شديد لجزيئات المائع بحيث تحدث الدوامات (Eddies) التي تضم كل منها آلاف أو ملايين الجزيئات ولا تتبع نظاماً ثابتاً بل تتغير حجومها وسرعة دورانها وانتقالها بصورة عشوائية مستمرة، فهي تتكون وتنمو وتتحرك في الاتجاه العام للمجرى وعبر مقطعه وتفنىٰ وتحل محلها دوامات أخرى، في عملية مستمرة معقدة بحيث لا يمكن تقدير كل ذلك إلا بطرق إحصائية تقريبية. وفي هذا النوع من الجريان يزداد معدل تبديد (استهلاك) الطاقة كثيراً وبنسبة أعلى بكثير من الجريان الطباقي، ولا يخفى إن سبب زيادة خسائر الاحتكاك لحركة مائع معين يُعزى للتغير الكبير الحاصل في سُرع المائع (انحدار كبير في سرعة المائع) بمقطع معين بين مركز الأنبوب وجداره في الجريان الداخلي وسرعة المائع في قعر القناة وسطح المائع الخارجي في الجريان الخارجي، فضلاً عن تأثير قوى القصور الذاتي العالية نسبياً على قوى اللزوجة، وبسبب تولد لزوجة إضافية (تسمى اللزوجة الدوامية Eddy Viscosity) مسببة إجهاد قص إضافي ناتجة عن تكون الدوامات.

ومن أهم وأوسع المشاهدات لهذا النوع من الجريان حركة الدخان الخارج من المداخن وحركة الغيوم والرياح وحركة المياه في القنوات والأنهار والبحار والمحيطات وغيرها، لاحظ الشكل (4-3).



شكل 4-3 جريان مضطرب

تذكر

تعتمد طبيعة الجريان في الأنابيب على:

- سرعة المائع.
- خواص المائع الفيزيائية.
- قطر الأنبوب في الجريان الداخلي.
- نوع الأنبوب أو نوع السطح الصلب في الجريان الخارجي.

5-4 رقم رينولدز Reynolds Number

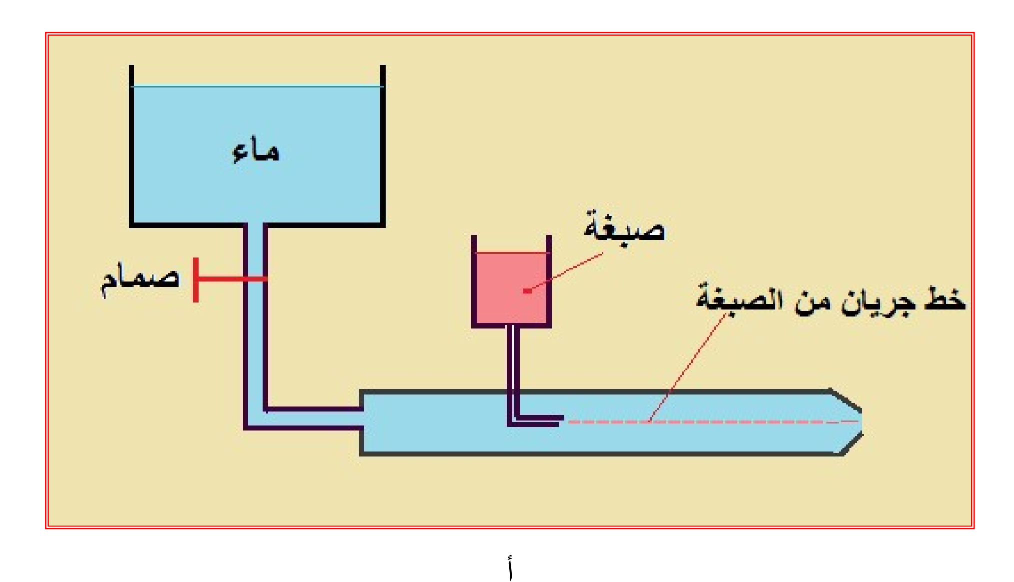
من الممكن مشاهدة حالتي الجريان الطباقي والمضطرب بإجراء التجربة التي قام بها العالم رينولدز والمبينة في الشكل (4-4)، إذ يجهز الماء من خزان كبير إلى الأنبوب الزجاجي الذي يمكن التحكم بجريان الماء فيه بوساطة صمام مثبت في نهايته ويضاف إليه قليل من سائل ملون. فإذا كان الجريان بطيئاً سيلاحظ بقاء الصبغة على شكل خيط رفيع دون امتزاجها بالماء مما يدل على كون الجريان انسيابياً (طباقياً)، أما في حالة زيادة سرعة الجريان إلى حدٍ معين عن طريق التحكم بفتحة الصمام فسيتشتت الخيط الملون ويمتزج بالماء مشيراً إلى حدوث اضطراب في الجريان.

وتسمى السرعة التي يتغير عندها الجريان من جرياناً طباقياً إلى جرياناً اضطرابياً بالسرعة الحرجة (Critical Velocity). وقد تبين من خلال الدراسات والبحوث إن التحول في نمط الجريان يعتمد على مجموعة غير بعدية (بدون وحدات) تسمى رقم رينولدز (Reynolds Number)، يرمز له (**Re**)، وهو عبارة عن النسبة بين قوى القصور الذاتي إلى قوى اللزوجة، أي أنها تجمع بين خواص المائع والسرعة وقطر الأنبوب وبالصيغة التالية:

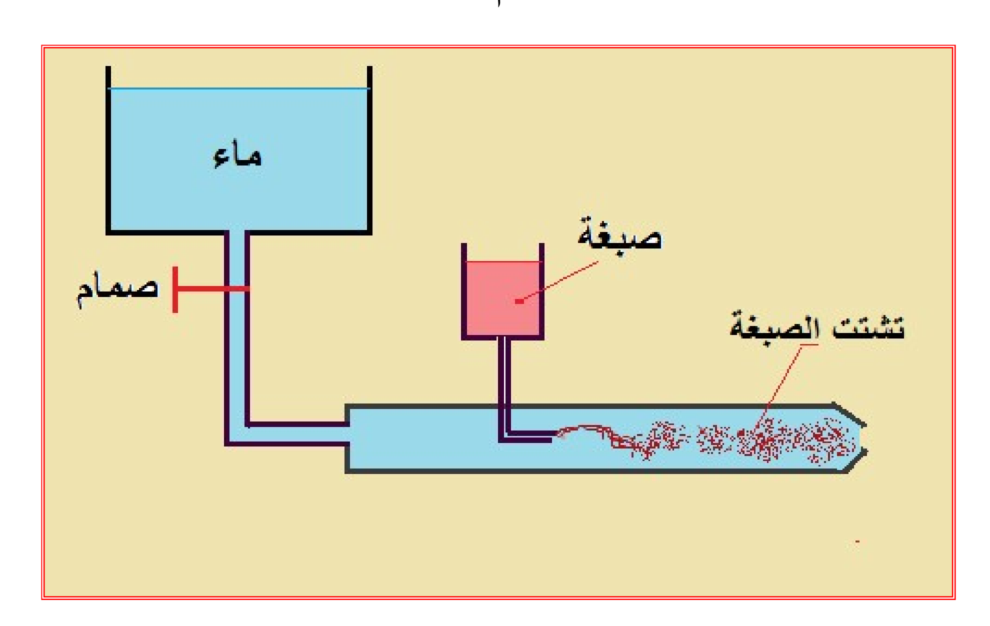
$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \times D \times V}{\mu}$$

ويعتبر عدد رينولدز مقياس لتمييز طبيعة الجريان مثل الجريان الطباقي في أنبوب أو في الطبقة المتاخمة (الملامسة) في السطح الصلب أو حول الأجسام المغمورة، فإذا كانت قيمة عدد رينولدز أقل من (2000) يكون الجريان طباقياً وقيمته ما بين (2000-4000) يكون فيها الجريان في حالة تحول وإذا زادت القيمة عن (4000) يصبح الجريان اضطرابي وهذه المقادير تنطبق على الجريان الداخلي.

إن ميكانيكية الجريان في القنوات المفتوحة أكثر تعقيداً منها في القنوات المغلقة نتيجة لوجود السطح الحر، إذ ينطبق خط انحدار الطاقة على السطح الحر، ويمكن استعمال نفس قيم رقم رينولدز المستعملة في الجريان الداخلي لتمييز طبيعة الجريان في القنوات المفتوحة، حيث يتم استبدال القطر (D) بالمقدار (4R) حيث يمثل (R) نصف القطر الهيدروليكي والذي يعرف على أنه ناتج قسمة مساحة المقطع على المحيط المبلل للقناة، وسوف يتم شرح هذا الموضوع بصورة وافية في الفصل اللاحق.



أ



ب

شكل 4-4 تجربة رينولدز (أ ـ جريان طباقي، ب ـ جريان اضطرابي)

مثال 1

يجري الماء في أنبوب أملس قطره 10 سم بسرعة 0.1 م\ ثا إذا علمت أن كثافة الماء ولزوجته تساوي 1000 كغم\ م^3 ، 0.001 باسكال ثانية. بيّن طبيعة الجريان في الأنبوب (طباقي أم مضطرب).

الجواب

$$Re = \frac{\rho \times D \times V}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000 \times 0.1 \times 0.1}{0.001}$$

$$Re = 10\ 000$$

بما أن قيمة عدد رينولدز تساوي عشرة آلاف وهي أعلى من المقدار 4000 التي يعتبر الجريان عندها اضطرابي.

إذاً الجريان في هذا الأنبوب جرياناً اضطرابياً.

مثال 2

جد مقدار السرعة الحرجة ليبقى جريان الماء في أنبوب قطره 0.2 م جرياناً طباقياً.

الجواب

بما أن المطلوب هو السرعة الحرجة ليبقى الجريان طباقياً، إذاً نعتمد قيمة عدد رينولدز تساوي 2000، وهذه القيمة تمثل أعلى مقدار للجريان الطباقي في الحالات الاعتيادية.

$$Re = \frac{\rho \times D \times V}{\mu}$$

$$2000 = \frac{1000 \times 0.2 \times v}{0.001}$$

$$v = 0.01 m / sec$$

## 6-4 معادلة الطاقة		Energy Equation

سبق وأن تم عرض معادلة برنولي في الفصل السابق والتي تمثل معادلة الطاقة لجريان الموائع المثالية بدون حساب الخسائر الناتجة عن احتكاك المائع الجاري في سطح الأنبوب الداخلي وغيرها من الخسائر، ولكن في الحقيقة عند حساب القدرة المطلوبة وتصميم مقاطع الأنابيب لا يمكن اهمال حد الخسائر من معادلة الطاقة الخاصة بجريان الموائع وخصوصاً عند المسافات الطويلة حيث يمكن أن تكون خسائر الاحتكاك (الطاقة المفقودة) أهم وأكبر حدود المعادلة، فضلاً عن الحاجة إلى توخي الدقة في التصميم.

إن مقادير الخسائر في جريان الموائع الحقيقية (Real Fluids) متعددة ومتنوعة مثل وجود صمامات واقفال وانحناءات أو تغير مفاجئ في مساحة مقطع الأنبوب ناهيك عن خشونة السطح الداخلي للأنابيب.

وبسبب وجود مفاقيد الطاقة التي تم ذكرها فلابد من وضع محطات إعادة ضخ المائع وبمواقع معينة محسوبة مسبقاً لتعويض فقدان الطاقة بسبب خسائر الاحتكاك والخسائر الأخرى.

لا تختلف معادلة الطاقة عن معادلة برنولي كما تم ذكره سوى بإضافة حد الخسائر الذي عادة ما يرمز له بالرمز (h_f) وهي كالتالي:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{{V_1}^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{{V_2}^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

## 7-4 الضائعات الرئيسة والثانوية		Major and Minor Losses

يندفع المائع في الأنبوب بسبب الضغط المسلط عليه، ولو تم وضع عدد من أجهزة قياس الضغط (مانومتر) على امتداد خط جريان المائع في الأنبوب سنجده يتناقص عند الابتعاد عن مصدر الضغط ويعود سبب التناقص هذا إلى أسباب عديدة ومتنوعة منها الضائعات الرئيسة والثانوية.

### 1-7-4 الضائعات الرئيسة		Major Losses

تتمثل الضائعات الرئيسة في الجريان الداخلي باحتكاك المائع بالسطح الداخلي لأنبوب الجريان، ويعتمد مقدار هذه الضائعات على مادة الأنبوب وطريقة تصنيعه اللتان تعتبران معياراً لمدى خشونة سطح الأنبوب الداخلي، ومن البديهي أنه كلما زادت الخشونة زادت خسائر الاحتكاك، وهنالك جداول

ورسومات بيانية لغرض حساب معامل الاحتكاك (f)، وفي هذه المرحلة سيتم إعطائها جاهزة للطالب وسيتم شرحها مفصلاً في المراحل اللاحقة إن شاء الله، ويوضح الجدول (1-4) قيم الخشونة لبعض المواد الانشائية، ومنه نستنتج بأن معامل الاحتكاك يصبح دالة لخشونة السطح (∈).

جدول 4-1 قيم الخشونة (∈) لبعض المواد الانشائية (mm)

Drawn Tubing	**الأنابيب المسحوبة**	**0.0015**
Steel Pipes	الأنابيب المصنوعة من الصلب	**0.046**
Galvanized Iron	الحديد المغلون	**0.152**
Cast Iron	حديد الآهين	**0.12**
Wood Stave	الخشب	**0.18-0.91**
Concrete	الخرسانة	**0.3-3.0**

ولحساب مقدار هبوط الضغط بسبب الخسائر الرئيسة (h_f) سيتم الاعتماد على معامل الاحتكاك (f) وسرعة جريان المائع وقطر الأنبوب، أجرى العالمان دارسي وفايزباخ دراسات معمقة لمقاومة الأنابيب وكانت محصلة بحوثهما المعادلة التالية التي سميت بإسميهما:

$$h_f = \boldsymbol{f} \times \frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{D}} \times \frac{\boldsymbol{V}^2}{\boldsymbol{2g}}$$

ومن الجدير بالذكر إن وحدة قياس الخسائر الرئيسة (h_f) هي متر إذ أنها منسجمة مع باقي وحدات حدود معادلة الجريان لأن معامل الاحتكاك (f) مجرد من الوحدات. أن بقية حدود المعادلة (L, D, v, g) يسهل معرفتها أو حسابها ولكن الصعوبة هي إيجاد معامل الاحتكاك، هنالك العديد من محاولات العلماء والباحثين لإيجاد مقدار هذا المعامل وتوصلت إلى بعض المعادلات والجداول والرسوم البيانية لغرض الاستفادة منها في حساب الخسائر وحسب نمط الجريان منها:

- عند حساب معامل الاحتكاك لأنبوب أملس مع عدم تجاوز عدد رينولدز مئة ألف فإن قيمة معامل الاحتكاك (f)

$$\boldsymbol{f} = \frac{\mathbf{0.316}}{\boldsymbol{Re}^{\mathbf{0.25}}}$$

- في حالة الأنبوب ذو سطح خشن يمكن الاعتماد على رسم موودي البياني (Moody Chart) وهو عبارة عن رسم بياني لوغاريتمي فيه مجموعة من المنحنيات تمثل درجة خشونة سطح الانبوب وبالاعتماد على عدد رينولدز يمكن إيجاد قيمة معامل الاحتكاك.

لاحظ المخطط (1-4) في نهاية الفصل.

- في حالة كون الجريان طباقياً هنالك معادلة لحساب معامل الاحتكاك يمكن استعمالها دون نسبة خطأ كبيرة وضمن مديات معقولة من سرع جريان الموائع ، وهذه المعادلة هي:

$$f = \frac{64}{Re}$$

- وفي حالة عدم امكانية حساب معامل الاحتكاك من الحالات المذكورة أعلاه يلجأ الباحثون إلى التجارب العملية لغرض استنتاج هذا المعامل.

مثال 3

بالاستعانة بمعلومات مثال (2)، احسب مقدار الهبوط بالطاقة (h_f) بوحدة المتر إذا كان الجريان طباقياً وطول الأنبوب يساوي (10) كم.

الجواب

بما أن الجريان طباقياً، إذاً نعتمد قيمة عدد رينولدز تساوي 2000

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$f = \frac{64}{2000} = 0.032$$

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} =$$

$$h_f = 0.032 \times \frac{10\,000}{0.2} \times \frac{0.01^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_f = 8.16 \times 10^{-3} = 0.0081 \text{ m}$$

لاحظ

في المثال أعلاه ولكون الجريان طباقي وسرعة الجريان واطئة نلاحظ أن مقدار خسائر الطاقة واطئة جداً وهي تعتبر صغيرة جداً، لذا تهمل هذه الخسائر في مثل هذه الحالات دون استهلاك جهد غير مبرر في حسابها.

مثال 4

إحسب خسائر الاحتكاك لكل واحد كيلو متر من أنبوب قطره 20 سم مصنوع من الآهين Cast Iron يستعمل بنقل الماء، إذا علمت معدل التدفق (0.05 م^3/ ثا).

الجواب

إيجاد عدد رينولدز

$$Re = \frac{\rho \times D \times V}{\mu}$$

إيجاد سرعة الماء

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.05}{(\pi \frac{0.2^2}{4})} = 1.6 \text{ m/s}$$

من مثال (1) اللزوجة تساوي 0.001 Pa .s

$$Re = \frac{1000 \times 0.2 \times 1.6}{0.001} \approx 3.2 \times 10^5$$

إيجاد الخشونة ($\in$) من الجدول (4-1) لأنابيب الآهين 0.12

لغرض الاستفادة من الرسم البياني للخسائر الرئيسة (مخطط 4-1) يتطلب إيجاد قيمة $\frac{\in}{D}$

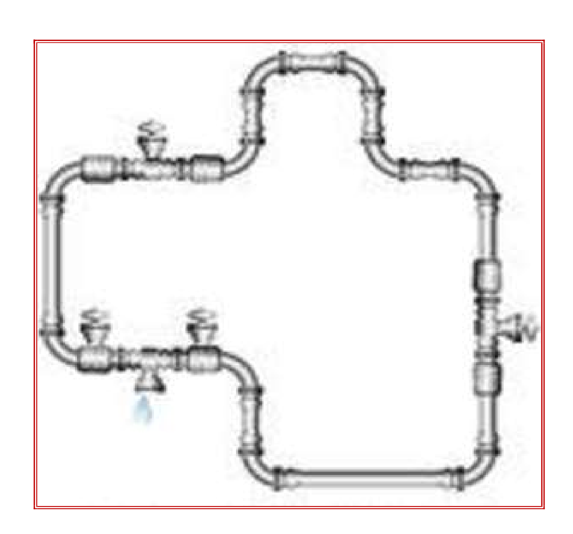
$$\frac{\in}{D} = \frac{0.12}{200} = 0.0006$$

من المخطط (4-1) من تقاطع خطي $\frac{\in}{D}$ مع عدد رينولدز نجد قيمة معامل الخسائر (f) وتساوي 0.019

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} = 0.019 \times \frac{1000}{0.2} \times \frac{1.6^2}{2 \times 9.81} = 12.2 \text{ m}$$

2-7-4 الضائعات الثانوية Minor Losses

إن هذا النوع من الضائعات يحدث في خط الأنابيب نتيجة وجود الحنيات والوصلات والصمامات وغيرها، إن تسمية هذه الضائعات بالثانوية في الحقيقة هي تسمية خاطئة كونها في بعض الحالات تكون أكثر أهمية من الضائعات الرئيسة التي ذكرت في الفقرة السابقة، ولكنها تسمية تقليدية متعارف عليها، لاحظ الشكل (4-5)



شكل 4-5 زيادة الضائعات الثانوية

في أكثر هذه الحالات تحدد قيمة هذه الضائعات عن طريق تجارب عملية، ولكن يمكن تحديد بعض منها عن طريق بعض المعادلات البسيطة وكما مبين أدناه:

1. التوسيعة المفاجئة في الأنبوب (Sudden Expansion)

إذا توسع مقطع الأنبوب تدريجياً فإن الخسائر للمائع الجاري ستزداد قليلاً عما لو كان المائع يجري في أنبوب ثابت المقطع، وفي كثير من الأحيان يمكن إهمال هذه الزيادة. أما إذا حدث توسع مفاجئ في الأنبوب فإن مقدار الطاقة الضائعة ستزداد زيادة ملموسة نتيجة نشوء الدوامات في التوسيعة. ويمكن حساب الضائعات في هذه الحالة عن طريق المعادلة التالية:

$$h_e = \; K \times \frac{V^2}{2g}$$

$$K = \; [1 - (\frac{D1}{D2})^2]^2$$

إذ أن:

D_1 ، D2 هما قطر الأنبوب الأصلي وقطر الأنبوب بعد التوسيعة المفاجئة

علماً أن هنالك رسوم بيانية يمكن من خلالها حساب قيمة (K) بسهولة لهذه الحالة.

2. التضييقة المفاجئة في مقطع الأنبوب

في هذه الحالة تكون خسائر الاحتكاك قليلة لعدم نشوء الدوامات بقدر ما يحدث في التوسيعة المفاجئة، بالإمكان الاستعانة بمعادلات خاصة لهذه الحالة واستخراج قيمة المعامل (K) مشابه لحالة التوسيعة المفاجئة.

3. ملحقات الأنابيب والصمامات

يوجد عدد كبير من ملحقات الأنابيب تستعمل لربط الأنابيب بعضها مع بعض في المصانع وشبكات المياه وغيرها، وتضم عادة شبكة أنابيب محطات تصفية ومعالجة المياه والمعامل والمصانع وغيرها تفرعات وتغيرات في الحجم عديدة مما يستوجب وضع الملحقات المتنوعة بحجوم قياسية تلائم حجوم الأنابيب المختلفة، لاحظ الشكل (4-6)، وأحياناً يتم استعمال الصمامات والأقفال بأنواعها (الكروي، البوابي، والصمام غير المرجع) للتحكم بمعدل الجريان، لاحظ الشكل (4-7) .

إن وجود الصمام أو القفل أو ملحقات الأنابيب يعرقل جريان المائع في الأنبوب ويسبب خسائر إضافية، ففي أنبوب قصير محني بزاوية قائمة مثلاً قد تزيد الخسائر في الحنية أكثر مما هي عليه في الأنبوب المستقيم. ولحساب قيمة (K) في هذه الحالة، يوضح الجدول (4-2) قيمة معامل الضائعات الثانوية لملحقات الأنابيب والمستنتج من التجارب العملية، ومن ثم حساب الضائعات الثانوية فيها.

جدول 4-2 معامل الضائعات الثانوية لملحقات أنابيب مختلفة (K)

الملحقات (Fittings)		K
صمام الكرة (مفتوح تماماً)	Globe Valve	10
صمام زاوية (مفتوح تماماً)	Angle Valve	5
صمام السيطرة الدوار (مفتوح تماماً)	Swing Check Valve	2.5
صمام بوابة (مفتوح تماماً)	Gate Valve	0.19
صمام القفل بالترجيع	Close Returned Valve	2.2
تقسيم قياسي على شكل حرف (T)	Standard Tee	1.8
مرفق قياسي	Standard Elbow	0.9
مرفق متوسط ساحب	Medium Sweep Elbow	0.75
مرفق طويل ساحب	Long Sweep Elbow	0.6




شكل 4-6 بعض أنواع الملحقات المستعملة لربط الأنابيب



شكل 4-7 بعض أنواع الأقفال

علماً أن هنالك خسائر في مدخل ومخرج الأنبوب تكون عادةً قليلة وغالباً ما تهمل.

الشكل (4-8) يمثل الأنواع الشائعة الاستعمال من ملحقات أنابيب الفولاذ المغلون التي تستعمل في ربط الأنابيب مع جدول بمسمياتها الدارجة، ذكرت هذه الملحقات في هذا الجزء من الفصل لغرض اطلاع وإفادة الطالب في اختصاص شبكات ومحطات معالجة المياه فقط.

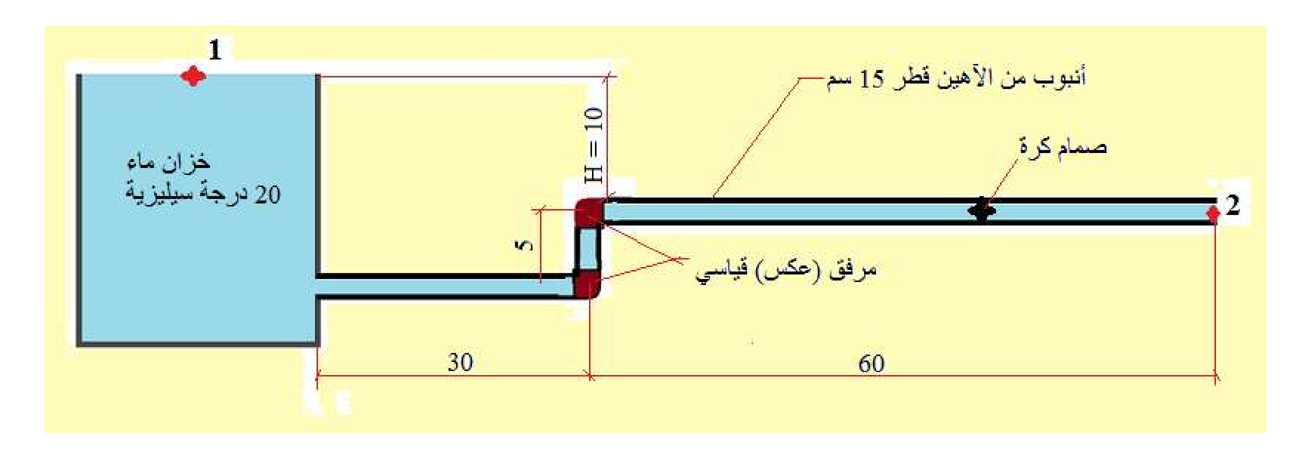


رقم	اسم الوصلة	الاسم الدارج	رقم	اسم الوصلة	الاسم الدارج
1	تقسيم رباعي	تقسيم رباعي	7	وصلة تجميع	يونين
2	وصلة ربط سن داخلي	بوشة	8	وصلة تصغير سن داخلي	بوشة تصغير
3	صمام غلق سن خارجي	بلك	9	زاوية 90 درجة	عكس 90 قائم
4	صمام غلق سن داخلي	بلك	10	تقسيم حرف T	تقسيم
5	زاوية 45	عكس 45	11	زاوية قائمة سن داخلي	سبيل
6	وصلة تصغير سن	بوشة	12	وصلة ربط سن خارجي	مقاوج

شكل 4-8 أنواع وصلات الربط في الأنابيب المغلونة مع جدول بالمسميات

مثال 5

إحسب مقدار التصريف بوحدة قياس (لتر\ ثا) خلال خط الأنابيب الموضح بالشكل (4-9) أدناه.



شكل 4-9 خط أنابيب مثال 4

الجواب

في مثل هذه المسائل يتم استعمال معادلة الطاقة بجميع حدودها ومن ضمنها جميع الضائعات ويتم تعيين نقطتين بحيث تشمل الشبكة بالكامل.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1{}^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2{}^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

بما أن النقطتين (1) و (2) معرضتان إلى الجو مباشرة فيكون الضغط في نقطة (1) ونقطة (2) متساوي لكونه معرض للضغط الجوي، عليه تصبح المعادلة كالتالي:

$$\frac{V_1{}^2}{2g} + Z_1 = \frac{V_2{}^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

بما أن النقطة (1) تقع على سطح خزان ماء كبير يعتبر المائع (الماء) ساكناً فيها أي أن $v_1 = 0$ فتصبح المعادلة كالآتي:

$$Z_1 = \frac{V_2{}^2}{2g} + Z_2 + h_f$$

تعتبر النقطة (2) مستوى الاسناد أي أن $Z_2 = 0$ ، فتصبح المعادلة كالتالي:

$$Z_1 = \frac{V_2{}^2}{2g} + h_f \quad \Longrightarrow \quad 10 = \frac{V_2{}^2}{2g} + h_f$$

بعد هذه الخطوة يتم حساب الضائعات الرئيسة والثانوية وهي كل من:

1- الضائعات في الأنابيب الثلاث، بالرجوع للرسم البياني (Moody Chart) يتم استخراج معامل الاحتكاك (f) ولكون الأنبوب مصنوع من الآهين يكون المقدار (0.022)، في هذه المرحلة من الدراسة سيتم اعطاء مقادير معامل الاحتكاك للطالب مباشرة.

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f = 0.022 \times \frac{95}{0.15} \times \frac{V^2}{2g} = 13.93\,\frac{V^2}{2g}$$

2- الضائعات الثانوية وتشمل مدخل الأنبوب وهذا المقدار يهمل على فرض أن المدخل ذو حافة دائرية، مقدار معامل (K) للمرفقات (العكوس) عدد (2) بالرجوع للجدول (4-2) K = 0.9 ، أما صمام ذو كرة قيمة المعامل K = 10

عليه تصبح مقادير الضائعات الثانوية كالتالي:

$$h_f = K \times \frac{V^2}{2g} = 2 \times 0.9 \times \frac{V^2}{2g} + 10 \times \frac{V^2}{2g} = 11.8\,\frac{V^2}{2g}$$

مجموع الضائعات الكلية تساوي

$$h_f = 13.93\,\frac{V^2}{2g} + 11.8\,\frac{V^2}{2g} = 25.73\,\frac{V^2}{2g}$$

بعد هذه الخطوة يتم تعويض مقدار الضائعات في معادلة الطاقة وتصبح كالتالي:

$$10 = \frac{V^2}{2g} + 25.73\,\frac{V^2}{2g} = 26.73\,\frac{V^2}{2g}$$

يتم تعويض مقدار التعجيل الأرضي الذي يساوي (9.81)

$$10 = 1.362\,v_2^{\,2} \quad \Rightarrow \quad v_2^{\,2} = 7.342$$

$v_2 = 2.71$ m/s

لإيجاد مقدار التصريف فإن $Q = v \times A$

$$Q = 2.71 \times \pi \times \frac{0.15^2}{4} = 0.047\ m^3/s$$

$$m^3 = 1000\ l$$

$$Q = 0.047 \times 1000 = 47.8\ l/s$$

ملاحظة

المثال المذكور يعتبر مثال شامل لتطبيق معادلة الطاقة والضائعات الرئيسة والثانوية، على الطالب أن يتمرن على مثل هذه الأسئلة لأهميتها في هذه المرحلة والمراحل القادمة.

8-4 ربط الأنابيب على التوالي والتوازي

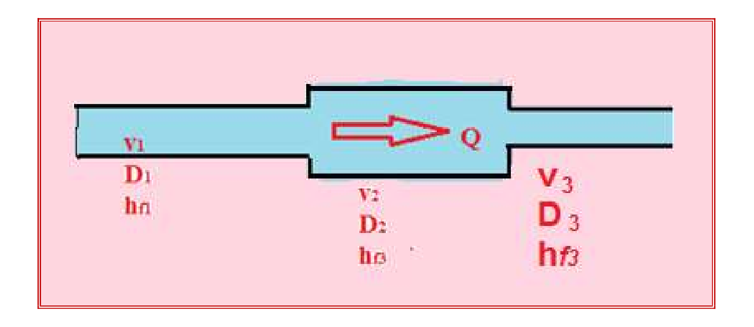
تتطلب اعمال ربط أنابيب الشبكات ومحطات تصفية ومعالجة المياه والمعامل والمصانع وغيرها ربط الأنابيب بصورة فنية صحيحة تؤدي الغرض الذي صممت من أجله، وهنالك طريقتان معتمدتان في أعمال الربط، الأولى ربط الأنابيب على التوالي والثانية ربطها على التوازي. وفي بعض الاحيان نستعمل الطريقتين معاً ولكل طريقة اسلوب ربط خاص وميزات معينة يمكن الاستفادة منها لتحقيق أفضل إنتاجية بأقل خسائر ممكنة.

1-8-4 ربط الأنابيب على التوالي

عند ربط أنبوبين أو أكثر ذوي أقطار مختلفة بحيث يتصل أحدهما بالآخر من جهة واحدة فقط بحيث يجري المائع من احدهما ومن ثم في الآخر، وكما موضح في الشكل (4-10) يصبح هذا النوع من ربط الأنابيب ربطاً على التوالي، وفي هذه الحالة يكون معدل التدفق ثابت لخط الشبكة بالكامل بينما مقدار الضائعات الكلية يساوي حاصل جمع الضائعات في كل أنبوب وكما موضح أدناه:

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$h_{f\,T} = h_{f\,1} + h_{f\,2} + h_{f\,3}$$



شكل 4-10 ربط الأنابيب على التوالي

4-8-2 ربط الأنابيب على التوازي

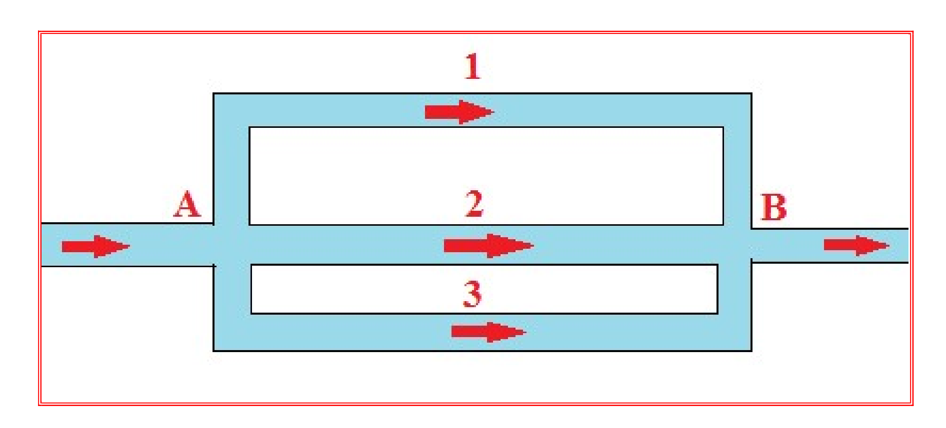
في هذه الحالة تربط مجموعة الأنابيب كما في الشكل (4-11)، بحيث يُقسم معدل تدفق الجريان بين الأنابيب ويكون مقدار الضائعات متساوي في جميع خطوط الشبكة، مع إضافة الضائعات الثانوية إلى أطوال كل أنبوبة في الشبكة بصفتها أطوالاً مكافئة، وكما مبين أدناه:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$h_{f\,1} = h_{f\,2} = h_{f\,3} = \frac{\rho_A}{\gamma} + Z_A - \left(\frac{\rho_B}{\gamma} + Z_B\right)$$

إذ أن:

Z_A، Z_B هما مناسيب النقاط A و B على التوالي



شكل 4-11 ربط الأنابيب على التوازي

أسئلة الفصل الرابع

س1) املأ الفراغات التالية بما يناسبها:

1. لتمييز نوع الجريان لمائع معين، يتطلب معرفة:
   1...............................2..........................3..........................
2. تعتمد حالتي الجريان المستقر وغير المستقر على عامل ....
3. عندما يكون الجريان هادئاً وانسيابياً يسمى....................................
4. تعرف السرعة الحرجة على أنها..

س2) علل ما يأتي:

1. لماذا تستعمل أنابيب ذات سطح أملس بدلاً من أنابيب خشنة السطح.
2. يفضل الجريان الطباقي على الجريان الإضطرابي.
3. استعمال عدد أقل من ملحقات الأنابيب قدر المستطاع.
4. استعمال نوع الصمام المناسب مثل صمام كروي بدلاً من الصمام البوابي عند الحاجة.

س3) يجري ماء لزوجته الكينماتية (ν = 1.15 ×10^{-6} m^2/s) في أنبوب قطره (30 mm)، أوجد معدل تدفق الماء بوحدة (l/min) الذي يجعل الجريان في الأنبوب يبقى جرياناً طباقياً.

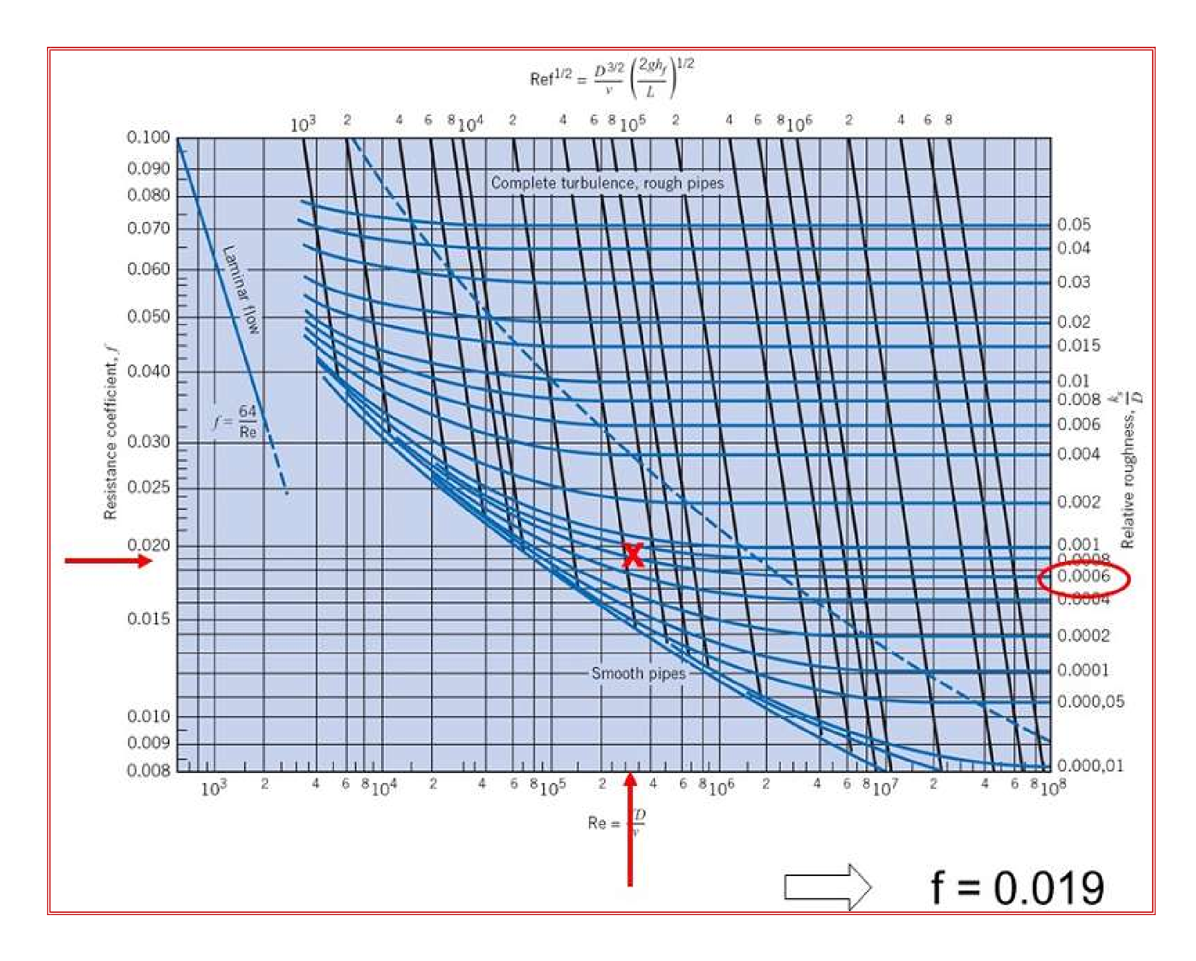
ج/ 3.2 l/min

س4) يجري سائل في أنبوب أفقي مصنوع من مادة الصلب بسرعة (4.5 m/sec)، إذا علمت أن لزوجة السائل تساوي (μ = 4.46 ×10^{-3} Pa.sec) وكثافته تبلغ (801 Kg/m^3)، وكان قطر الأنبوب (52 mm)، احسب خسائر الاحتكاك لجزء من الأنبوب طوله (36 m) إذا علمت أن معامل الاحتكاك يساوي (0.006).

ج / 4.3 m

س5) معدل تدفق أنبوب رئيسي بشبكة تجهيز ماء المدينة يساوي (43) لتر/ثا، يتفرع منه فرعين ثم يرتبطان سوية بعد ذلك، إذا كان قطر أحد الفروع هو (15) سم وطوله (300) م بينما الفرع الآخر قطره (20) سم وطوله (600) م، جد التصريف في كل فرع وخسائر الشحنة إذا علمت أن (f = 0.04).

ج/ (18 l/s, 25 l/s, 4 m)



مخطط 4-1 الرسم البياني لحساب الخسائر الرئيسية Moody Chart

الفصل الخامس

القنوات المفتوحة

Open Channels

الفصل 5

المحتويات

القنوات المفتوحة



1-5 مقدمة Introduction

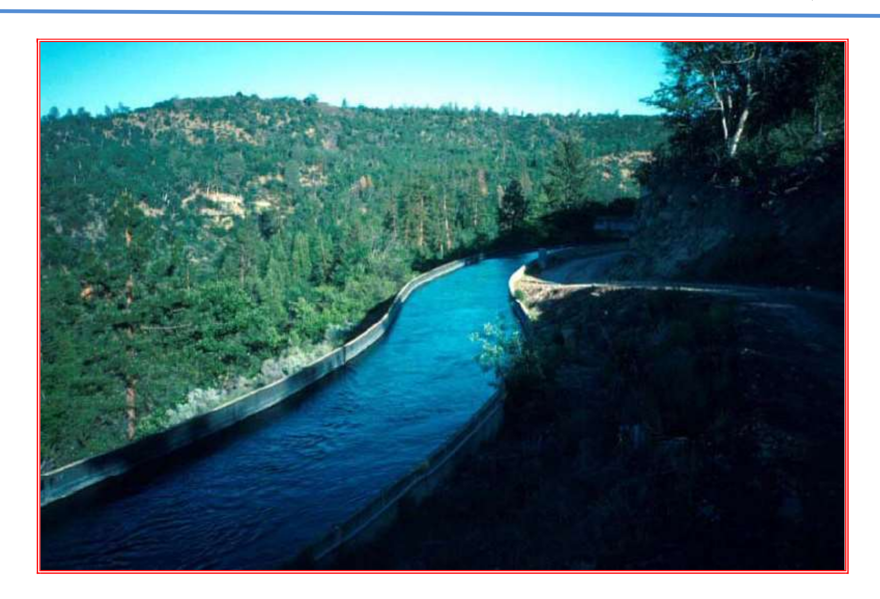
تُعرف القنوات المفتوحة على إنها القنوات التي يكون لها سطح حر معرض للضغط الجوي ولا يحدث الجريان في مثل هذه القنوات بسبب تأثير فرق الضغط الخارجي، ولكن بواسطة مركبة الجاذبية على طول ميل القنوات. وهي تشمل الأنهار، القنوات الصناعية، قنوات الصرف الصحي، الأنفاق، وخطوط الأنابيب غير الممتلئة بالكامل (مثل أنابيب نقل المياه الثقيلة).

يمكن بناء القنوات المفتوحة الصناعية لنقل المياه لأغراض استغلال الطاقة الهيدروليكية، الري، شبكات مياه الشرب للمدن والصرف الصحي، أو قنوات التحكم بالسيول والعديد من الأغراض الأخرى. المعادلات الرياضية (الموديل الرياضي) التي تخص الجريان في القنوات المفتوحة أصعب بكثير من مثيلاتها في حالة القنوات المغلقة. عملياً جميع القنوات المغلقة تكون دائرية الشكل ولكن مقاطع القنوات المفتوحة يمكن أن تكون ذات أي شكل منتظم أو غير منتظم، الأشكال الهندسية المألوفة مثل الشكل الدائري، المستطيل، شبه المنحرف أو مثلث المقطع وغيرها. كذلك فإن درجة خشونة السطح في القنوات المفتوحة تقريباً تناظر درجة خشونة الأسطح في القنوات المغلقة.

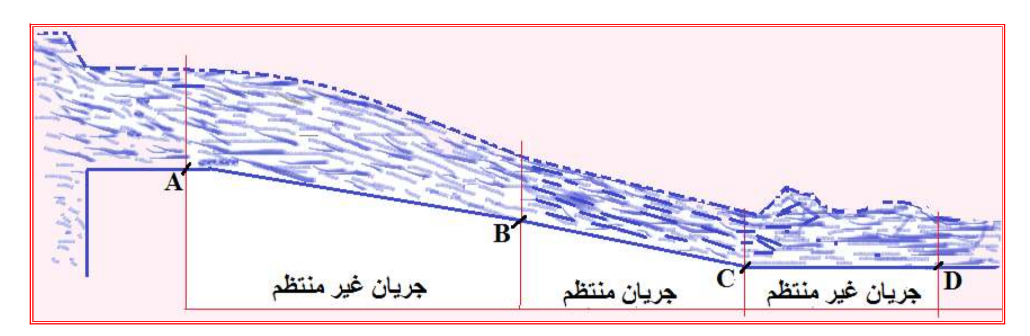
2-5 أنواع الجريان في القنوات المفتوحة Types of Flow in Open Channels

كما تم الإشارة إليه في الفصل الرابع في موضوع أنواع الجريان في القنوات المغلقة، فإن حالات أنواع الجريان في القنوات المفتوحة هي نفسها في القنوات المغلقة (الأنابيب)، ففي حالة الجريان المنتظم يبقى مقطع الماء وعمقه ثابتين على مدى طول القناة، لاحظ الشكل (5-1)، وهذا يعني أن الإنخفاض في طاقة الموضع ($Z_2 - Z_1$) يساوي ضائعات أو فواقد الإحتكاك الناتجة من احتكاك المائع بالجدران والإضطراب. لأي قناة مفتوحة خشونة معينة، مقطع معين، وميل معين، ستمتلك تصريف معين (Q) وعمق معين فيكون عنده الجريان منتظماً، الشكل (5-2) يوضح حالتي الجريان المنتظم والغير منتظم. يكون الجريان منتظماً من (B) إلى (C)، ويعاني من تباطؤ نتيجة تغير الميل بين النقطتين (C و D)، وأخيراً يقترب من عمق جديد لجريان منتظم لما بعد (D).

أما في حالة الجريان الغير منتظم من (A) إلى (B) وكذلك من (C) إلى (D) فإن عمق الجريان سيكون متغيراً تبعاً إلى تغير المقطع أو الميل أو سرعة الجريان أو خشونة السطح وغيرها من الأسباب. وكما مبين في الشكل (5-3).



شكل 5-1 جريان ماء منتظم في قناة مفتوحة



شكل 5-2 الجريان المنتظم والغير منتظم

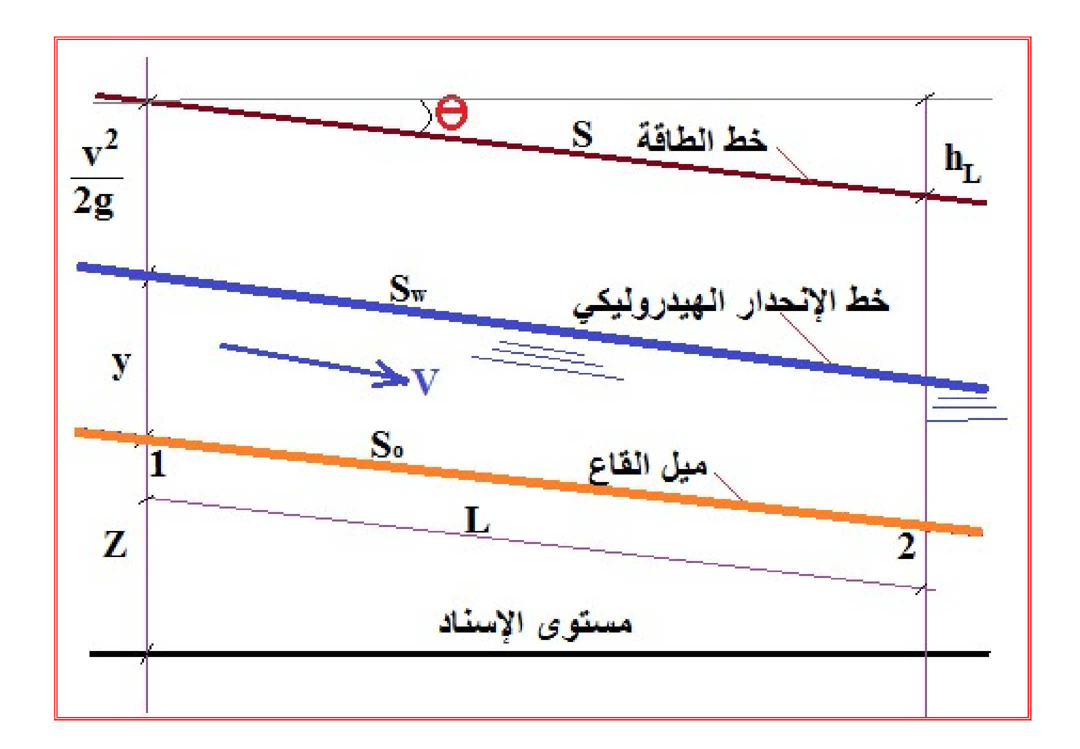


شكل 5-3 جريان ماء غير منتظم

3-5 الإنحدار الهيدروليكي Hydraulic Grade

في جريان القنوات المفتوحة يرمز لميل قاع القناة بالرمز (S_o)، وميل سطح الماء بالرمز (S_W) وخط الطاقة (فوق سطح الماء) بالرمز (S)، وكما موضح في الشكل (5-4)، ففي حالة الجريان المنتظم في قناة مفتوحة فإن خط الإنحدار الهيدروليكي (HGL) ينطبق على سطح الماء وستكون مساحة مقطع القناة ثابتة على طول القناة وبالمثل تكون السرعة ثابتة وبالتالي فإن خط قاع القناة وسطح الماء وخط الطاقة تكون جميعها موازية لبعضها البعض، إذ أن الزاوية (θ) هي الزاوية المحصورة بين قاع القناة أوسطح الماء مع الأفق، و(h_L) هي ضائعات وفواقد الطاقة، و (L) يمثل طول القناة، وعليه فإن:

$$\sin \theta = \frac{h_L}{L}$$



شكل 5-4 خط الإنحدار الهيدروليكي

4-5 معادلات الجريان المنتظم Uniform Flow Equations

تم في الفصل السابق استنتاج المعادلة العامة لفواقد الإحتكاك (h_L) في القنوات المغلقة وبالإمكان تطبيق نفس المفهوم على الجريان المنتظم في القنوات المفتوحة، إذ توصل العالم (تشيزي) إلى أن السرعة في القنوات المفتوحة تتغير مع الجذر التربيعي لحاصل ضرب كل من نصف القطر الهيدروليكي (R_h) وميل خط الطاقة (S) والذي يساوي (S_o و S_W) لأن الجريان منتظم، أي أن:

$$v = c\sqrt{R_h \times S}$$

ويمكن حساب نصف القطر الهيدروليكي ووحداته المتر (m) من قسمة مساحة المقطع العرضي للقناة (A) على المحيط المبتل (P) وهو الجزء من محيط مساحة المقطع حيث يوجد فيه تلامس بين المائع وحدود الجسم الصلب، أي:

$$R_h = \frac{A}{P}$$

أما (c) في المعادلة فهو معامل الإحتكاك المناظر لمعامل الإحتكاك (f) بالجريان في القنوات المغلقة، ووحداته هو جذر وحدة الطول على الثانية، أي أنه يساوي:

$$c = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

ثاني أهم المعادلات التي تستخدم في حسابات جريان القنوات المفتوحة هي معادلة (ماننك):

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{n}} \times R_h{}^{\mathbf{2}/\mathbf{3}} \times S^{\mathbf{1}/\mathbf{2}}$$

إذ أن (n) هو معامل الخشونة.

مثال 1

قناة مفتوحة مستطيلة المقطع عرضها (5) م وعمق الماء فيها (2) م، أُنشأت بميل واحد لكل خمسة الآف، جِد سرعة الجريان والتصريف على فرض أن ثابت تشيزي يساوي (60).

الجواب

$A = b \times d = 5 \times 2 = 10\ m^2$

$P = b + 2d = 5 + 2 \times 2 = 9\ m$

$R_h = \frac{A}{P} = \frac{10}{9}\ m$

$v = c\sqrt{R_h \times S}$

$v = 60\sqrt{\frac{10}{9} \times \frac{1}{5000}} = 0.89\ m/s$

$Q = A \times v = 10 \times 0.89 = 8.9\ m^3/s$

مثال 2

أوجد عمق قناة مفتوحة مستطيلة المقطع الموضحة في الشكل (5-5) لنقل ماء بجريان منتظم وبسرعة مقدارها (0.5) م/ثا، إذا علمت أن ميل قاع القناة هو (0.0001) وقيمة معاملماننك هي (0.014) وعرض القناة (1.5) م، ثم جد مقدار التصريف.

الجواب

$v = \frac{1}{n} \times R_h{}^{2/3} \times S^{1/2}$

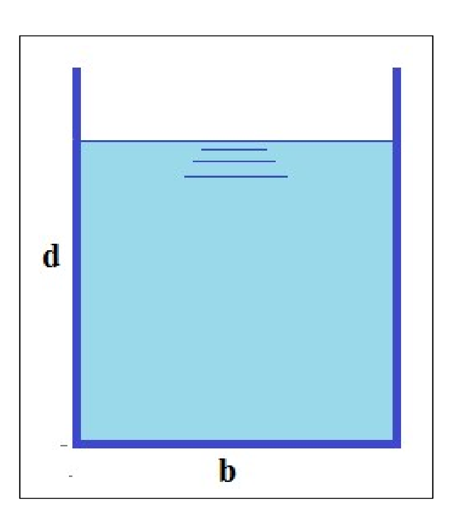
$0.5 = \frac{1}{0.014} \times R_h{}^{2/3} \times 0.0001^{1/2}$

$R_h = 0.585\ m$

$R_h = \frac{A}{P} = \frac{b \times d}{2d+b}$

$0.585 = \frac{1.5d}{2d+1.5} \longrightarrow d = 2.66\ m$

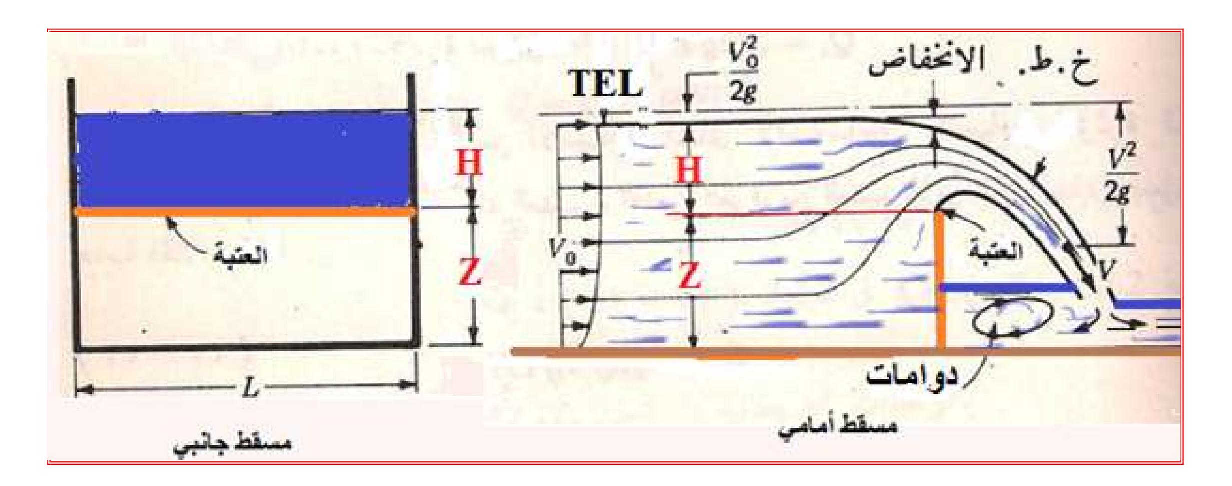
$Q = \frac{v}{A} = \frac{0.5}{2.66 \times 1.5} = 0.125\ m^3/s$



شكل 5-5 قناة مفتوحة مستطيلة المقطع

5-5 قياس التصريف Discharge Measurement

يتم قياس التصريف (Q) في القنوات المفتوحة بطرائق عدة، احدى أهم هذه الطرائق هي استعمال الهدارات (Weirs) المستطيلة والمثلثة، والهدار عبارة عن بناء مشابة للسد، إذ يعين معدل التصريف بواسطة قياس أرتفاع الماء (H) فوق قمة العتبة وعلى مسافة معينة منها بإتجاة مقدمة القناة وكما موضح في الشكل (5-6).



شكل 5-6 جريان فوق هدار حاد العتبة

إن معادلة التصريف لهدار مستطيل طوله (L) هي:

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times \sqrt{2g} \times L \times H^{3/2}$$

وحيث أن (C_d) معامل التصريف ويستعمل بقيمة (0.62) وبذلك تصبح المعادلة أعلاه:

$$Q = 1.84 \times L \times H^{3/2}$$

فعند معرفة طول الهدار وارتفاع الماء فوق العتبة يمكن حساب التصريف.

مثال 3

قناة مفتوحة مستطيلة المقطع عرضها (1.5) م، وعمق الماء فيها (1) م تمرر تصريف مقداره (0.9) م^3\ ثا، أقترح بناء هدار مستطيل عبر القناة لقياس التصريف، جد إرتفاع عتبة الهدار من قاع القناة بحيث لا يطفو الماء على جوانب القناة على فرض أن ($C_d = 0.6$).

الجواب

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times \sqrt{2g} \times L \times H^{3/2}$$

$$0.9 = 0.6 \times \frac{2}{3} \times \sqrt{2 \times 9.81} \times 1.5 \times H^{3/2}$$

$$H = 0.485 \text{ m}$$

نفرض أن إرتفاع العتبة للهدار هو (**Z**)

$$Z + H = 1$$

$$Z + 0.485 = 1 \longrightarrow Z = 0.575 \text{ m}$$

مثال 4

قناة ماء على شكل شبه منحرف عرض قاعدتها (4) م وميل جوانب القناة (1 إلى 3) وارتفاع الماء فيها (2) م، فإذا كان ميل خط إنحدار القناة (10000/1) ومعامل ماننك يساوي (0.025)، جِد مقدار التصريف لجريان منتظم، لاحظ الشكل (7-5).

$$\frac{1}{3} = \frac{2}{x} \longrightarrow x = 6 \text{ m}$$

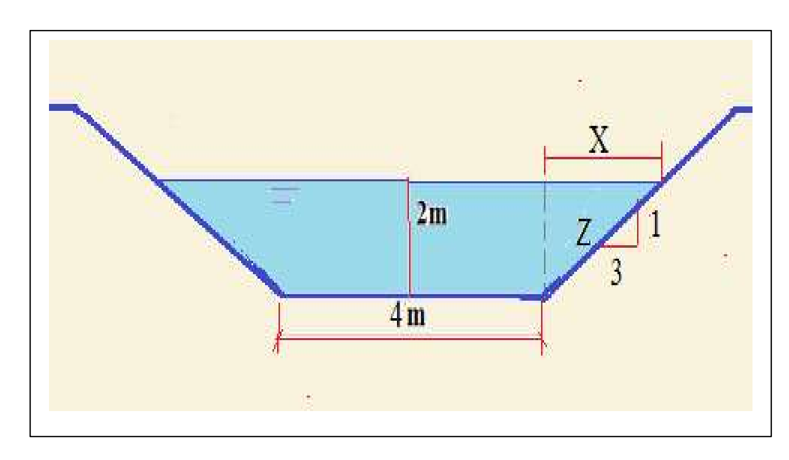
$$Z = \sqrt{6^2 + 2^2} = 6.3 \text{ m}$$

$$A = \frac{16+4}{2} \times 2 = 20 \text{ m}^2$$

$$P = 2 \times 6.3 + 4 = 16.6 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{20}{16.6} = 1.2 \text{ m}$$

$$v = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times S^{1/2}$$



شكل 7-5 قناة مفتوحة بشكل شبه منحرف

$$v = \frac{1}{0.025} \times 1.2^{2/3} \times 0.0001^{1/2} = 0.45 \text{ m/s}$$

$$Q = A \times v = 20 \times 0.45 = 9 \text{ m}^3/\text{s}$$

أسئلة الفصل الخامس

س1) ماهي القنوات المفتوحة؟ وماهي أنواعها؟

س2) من الذي يسبب جريان الموائع في القنوات المفتوحة؟

س3) قارن بين الجريان المنتظم وغير المنتظم في القنوات المفتوحة.

س4) عرف كل من المحيط المبتل ونصف القطر الهيدروليكي مع الرسم.

س5) إذكر معادلتي تشيزي ومانك وعرف كل رمز فيهما.

س6) احسب التصريف المار في قناة مستطيلة الشكل، عمق الماء فيها (2) م، وعرضها (4) م، وميل قاع القناة (1) لكل (2500)، على فرض أن ($C = 60$).

ج/ ($9.6\ m^3/s$)

س7) ماء يجري بعمق منتظم مقداره (2) م في قناة منحرفة المقطع والمبينة في الشكل (5-8)، عرض القاع يساوي (6) م، وميل جوانب القناة (1:2) (2 أفقي و1 عمودي) والتصريف المار بها هو (65م^3\ثا)، إحسب ميل قاع القناة على فرض أن ($n = 0.025$).

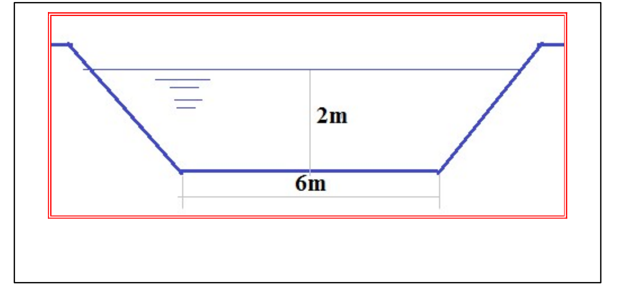
ج/ (1 لكل 222)

س8) إحسب تصريف الماء المار بأنبوب صرف صحي قطره (1.2) م، وعمق الماء في الأنبوب يساوي (0.9) م، وتم مد الأنبوب بميل (1 لكل 1000)، على فرض أن ($C = 58$)، لاحظ الشكل (5-9).

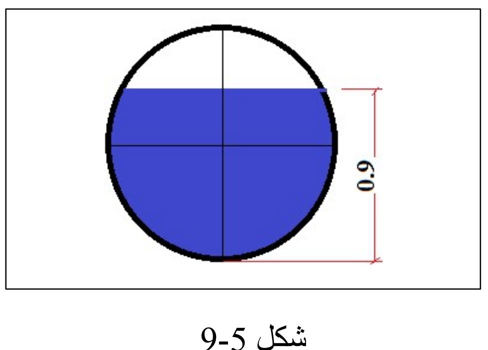
ج/ ($1.5\ m^3/s$)

س9) سجل الأمطار اليومي فوق مساحة معينة هو ($222×10^6$) لتر، إذا كان (70%) من المطر يصل الخزان وبعدها يمر فوق هدار مستطيل. جد طول الهدار إذا كان عمق الماء فوق عتبة الهدار (60) سم وأن ($C_d = 0.6$).

ج/ 2.2 m



شكل 5-8



شكل 5-9

الفصل السادس

المضخات

Pumps

الفصل 6

محتويات

تعلم المواضيع

المضخات

- أنواع المضخات.
- هيدروليكية المضخات.
- طرق ربط المضخات.
- حساب تصريف وقدرة وشحنة وكفاءة المضخات.
- استعمال الغاز المضغوط لضخ السوائل.

1-6 مقدمة Introduction

تستعمل المضخات عادةً لدفع السوائل في الأنابيب من مكان إلى آخر، والمضخة هي جهاز ميكانيكي يجهز السائل بالطاقة اللازمة للتغلب على قوى الاحتكاك في الأنبوب فضلاً عن منح السائل الضغط المطلوب في نقطة استلامه. وتُعد المضخات بأنواعها مثل مضخات الطرد المركزي (Centrifugal Pumps) ومضخات الازاحة الموجبة (Positive Displacement Pumps) أهم أجهزة الضخ شائعة الاستعمال بينما يوجد عدد من المضخات تستعمل لأغراض متخصصة مثل المضخة الرافعة بالهواء (Air Lift Pump)، يعتمد اختيار المضخة على معدل الجريان والضغط المطلوب في نهاية المنظومة مع العرض أن الشركات المصنعة عادة ما تذكر في مواصفات المضخات مقدار الضغط المولد من قبل المضخة على شكل ارتفاع عمود السائل وهذا مفيد عملياً في حل مسائل تطبيقات معادلة الجريان فعلى سبيل المثال لا الحصر 30 m.

في بعض الاحيان تستعمل أكثر من مضخة واحدة في الشبكة الواحدة بعد أن يتم اختيار موقع المضخات في الشبكة من خلال تحليل الشبكة بصورة علمية، وقد يتم ربط هذه المضخات على التوالي أو على التوازي أو الربطين معاً، وحسب متطلبات عمل الشبكة وكما سيتم عرضه في هذا الفصل، ويُشار بهذا الصدد إلى أهمية استعمال مضخة إضافية اضطرارية ليتم تناوب تشغيل المضخات وتوفير إمكانية إدامة وتصليح إحداهما مع استمرار عمل المنظومة.

استعملت المضخات منذ فترات زمنية بعيدة لغرض رفع الماء إلى مناسيب أعلى قبل اختراع محركات الاحتراق واكتشاف مصادر الطاقة الكهربائية وذلك من خلال استعمال الطاقات المتاحة في حينها مثل طاقة جريان الماء كما في النواعير أو الطاقة البشرية مثل المضخة اليدوية، كما هو مبين في الشكل (6-1).



شكل 6-1 مضخة يدوية

2-6 أنواع المضخات Pumps Types

1-2-6 مضخات الطرد المركزي Centrifugal Pumps

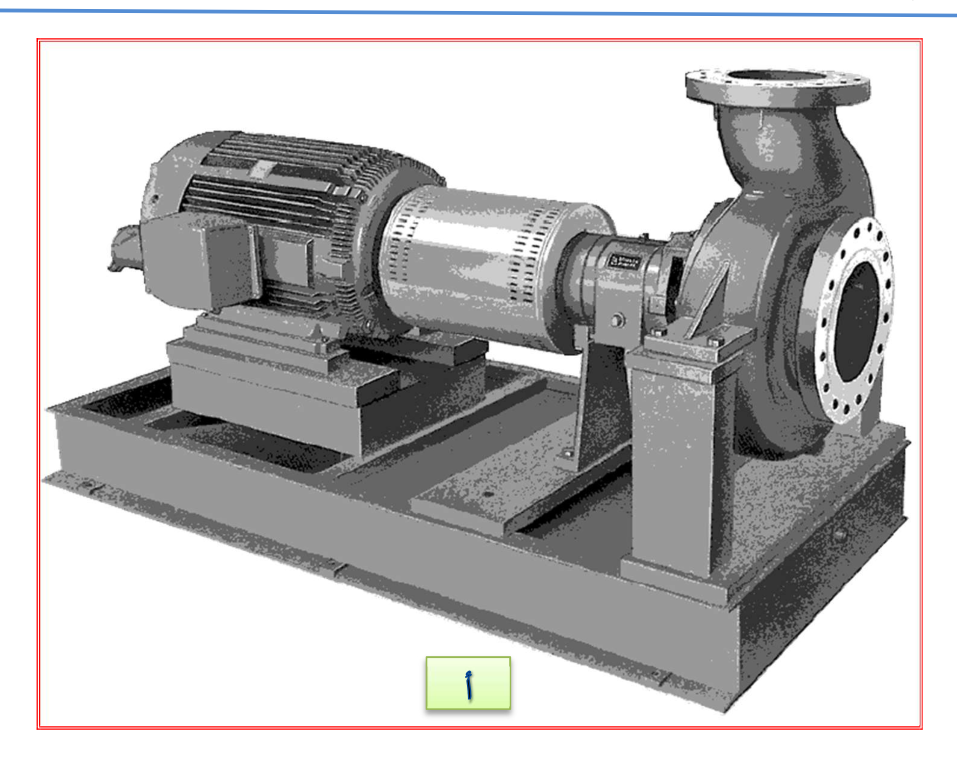
تكمن أهمية هذه المضخات في تعدد استعمالاتها، إذ تستعمل لضخ المياه والسوائل الكيمياوية والنفطية والسوائل التي تسبب الصدأ والتآكل، لاحظ الشكل (6-2). كما ويمكن استعمالها لضخ مزيج السائل بالمواد الصلبة مثل خلائط الخرسانة بالماء. تستعمل هذه المضخات عند الحاجة إلى معدل تدفق عالي للسائل ولضخه بارتفاعات معتدلة.

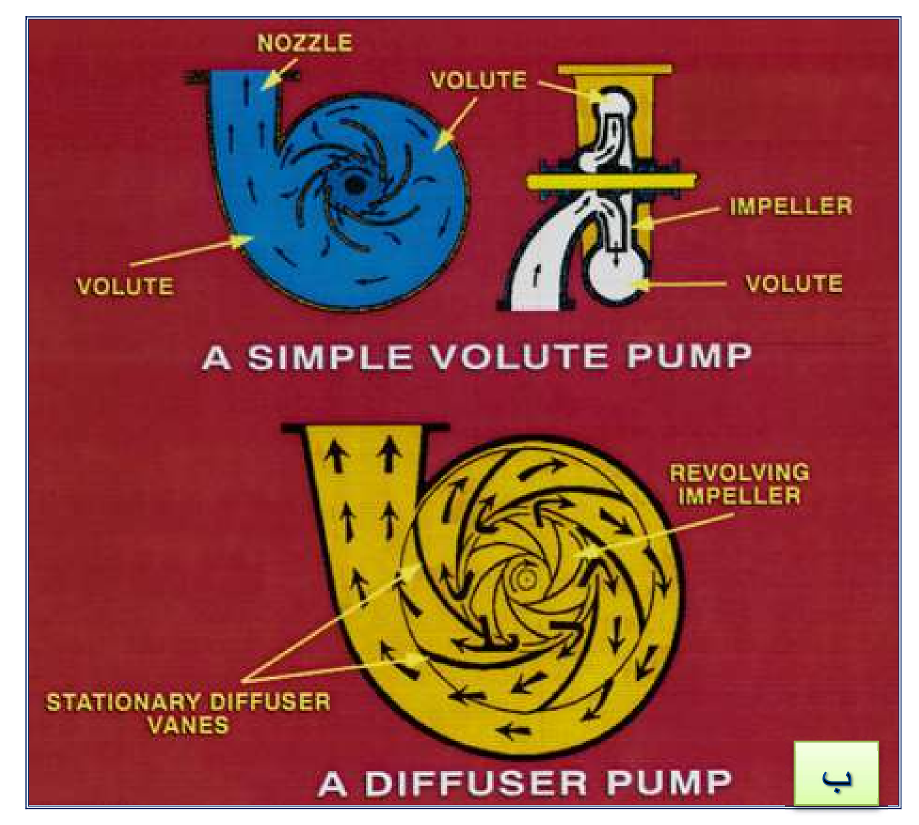
مميزات مضخات الطرد المركزي

1. بساطة تركيبها لذا يمكن صنعها من مواد مختلفة مثل الصلب واللدائن وغيرها.
2. سرعة دورانها العالية لذا يمكن ربطها بمحرك كهربائي.
3. ضخ معدل تدفق ثابت خالي من التذبذبات.
4. كلفة صيانة منخفضة نسبة إلى المضخات الأخرى.
5. لا تتأثر كثيراً حين يحصل انسداد في أنبوب التصريف.
6. حجمها الصغير نسبة إلى المضخات الأخرى التي تعطي نفس التصريف.
7. إمكانية استعمالها لضخ سوائل تحوي مواد صلبة عالقة.

مساوئ مضخات الطرد المركزي

1. انخفاض الضغط فالمضخة الواحدة لا تولد ضغطاً عالياً، لذا تصنع مضخات متعددة المراحل وبهذا تصبح الكلفة عالية في مرحلة الإنشاء بالإضافة إلى مرحلة التشغيل.
2. ضرورة ملئ غلاف المضخة وأنبوب السحب بأكمله بالسائل قبل التشغيل ويطلق على هذه العملية (السقي).
3. ضرورة نصب صمام اتجاه واحد في أنبوب التصريف لمنع رجوع السائل عبر المضخة بعد إيقافها.
4. عدم إمكانيتها لضخ السوائل عالية اللزوجة.





شكل 6-2 مضخة الطرد المركزي

(أـ صورة للمضخة ـ ب ـ آلية عمل نوعين من المضخة)

2-2-6 مضخات الإزاحة الموجبة Positive Displacement Pumps

الشكل (6-3) يوضح مقاطع تفصيلية لبعض من مضخات الإزاحة الموجبة والتي تصنف كالآتي:

1. **المضخات الترددية (Reciprocating)** وهذه بدورها تقسم إلى:

- **المضخات ذات المكبس (Piston Pumps)** تتألف من مكبس يتحرك حركة ترددية في داخل أسطوانة تحتوي أربع فتحات صماميه، وتولد هذه المضخة ضغطاً عالياً، بينما يكون التصريف متذبذباً بسبب الحركة الترددية للمكبس، ومن مساوئها وجود الصمامات المعرضة للعطل وكبر حجمها مقارنة بمضخة الطرد المركزي. ويمكن استعمال محرك بخاري أو محرك احتراق داخلي أو محرك كهربائي لتشغيل المضخة.

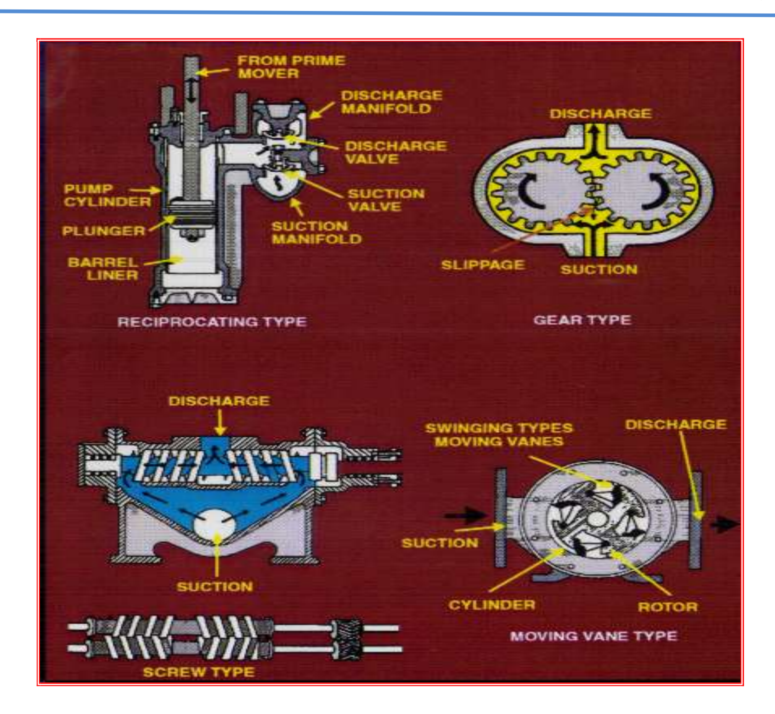
- **مضخات المعايرة (Metering Pumps)** وهي مضخات مكبسية صغيرة الحجم تشتغل بمحرك كهربائي بسرعة ثابتة، وتستعمل لضخ كميات صغيرة من السائل بضغط عالٍ وبمعدل جريان ثابت، مثل حقن كميات محسوبة من المواد الكيميائية في منظومة الجريان.

- **المضخات ذات الرق (Diaphragm)** تتألف من رق مصنوع من مادة مطاطية يفصل بين جزئي المضخة حيث يتحرك مكبس في اسطوانة على أحد جانبي الرق فيحركه حركة ترددية، أما مباشرة أو بواسطة سائل، ثم تنتقل الحركة إلى الجزء الثاني الذي يسحب ويضخ السائل. تستعمل هذه المضخة لضخ السوائل التي تسبب الصدأ والتآكل.

2. **المضخات الدوارة (Rotary Pumps)** وهذه بدورها تقسم إلى:

- **المضخات ذات المسننات (Gear Pumps)** تولد هذه المضخات ضغوط عالية وتستعمل لضخ السوائل عالية اللزوجة، وهي تعطي تصريفاً منتظماً كما يمكن ربطها بمحرك كهربائي مباشرة ولا تحتاج إلى الملئ قبل التشغيل وتستعمل غالباً في الصناعات النفطية لضخ المواد اللزجة الناتجة عن التقطير، لاحظ الشكل (6-4).

- **مضخات مونو (Mono Pumps)** تتألف من جزء لولبي الشكل يدور في داخل الجزء الثابت المصنوع من المطاط أو مواد مماثلة، ويندفع السائل في الحيز بين الجزئين. تستعمل هذه المضخة لضخ مزيج السائل والصلب إلى أجهزة الترشيح ويجب عدم تشغيلها وهي جافة في أي حال.



شكل 6-3 مقاطع تفصيلية لمضخات الإزاحة الموجبة



شكل 6-4 مضخة ذات المسننات

6-3 هيدروليكية عمل المضخات

لغرض الحصول على تشغيل للمضخات بشكل صحيح وبكفاءة عالية فضلاً عن عمر تشغيلي أطول، يتوجب تثبيت المضخات على قاعدة خرسانية لمنع نشوء الاهتزازات الضارة، ويقتضي الأمر نصب المضخة ومحركها على استقامة واحدة، كذلك نصب عدد من الصمامات في منظومة الضخ للتحكم بالضغط والجريان، ولا بد من وجود مصفي (Strainer) في أنبوب السحب لمنع دخول المواد

العالقة، وفي بعض المحطات والمعامل تشمل منظومة الضخ على عدد من أدوات القياس مثل مقاييس الضغط ودرجة الحرارة وغيرها.

وتجدر الملاحظة هنا إلى ضرورة وضع المضخة بنفس منسوب السائل المُراد ضخه أو على الأقل بفرق منسوب قليل بينهما وإلى حدِ مُعيَن تجنباً لتولد الفقاعات التي تؤثر سلباً على عمل المضخة كونها أحد أسباب حدوث ظاهرة التكهف (Cavitation). إذ عندما يكون هنالك فرق بالارتفاع كبير نسبياً بين المضخة والسائل المسحوب يؤدي ذلك إلى انخفاض ضغط السائل في خط السحب قد يصل انخفاض هذا الضغط إلى الضغط البخاري للسائل فيبدأ بالغليان وتتولد الفقاعات من الأبخرة، ويحمل السائل معه فقاعات الأبخرة حتى يصل إلى منطقة ذات ضغط عال داخل المضخة فتنفجر هذه الفقاعات فجأة، وهذا ما يسمى بالتكهف.

إذا كانت فقاعات البخار عند انفجارها قريبة أو ملامسة لجسم صلب فإن القوى المؤثرة الناتجة عن السائل المندفع إلى مناطق تواجد الفقاعات تولد ضغوطاً عالية جداً تسبب تشقق السطح الصلب والتي تكون مصحوبة بضوضاء واهتزازات عالية تؤثر سلباً على عمل المضخة ناهيك عن قصر العمر التشغيلي لها. ويجب أن تبدأ الوقاية من التكهف عند التصميم الهيدروليكي للمجموعة وذلك من خلال وضع المضخة بمنسوب موازٍ أو بالقرب من منسوب السائل المسحوب تجنباً للضغوط المنخفضة إذا كان ذلك عملياً، واستخدام مواد خاصة تقاوم التكهف، وكذلك التأكد من عدم احتواء الماء على الهواء الذي يزيد بدوره من حدوث هذه الظاهرة.

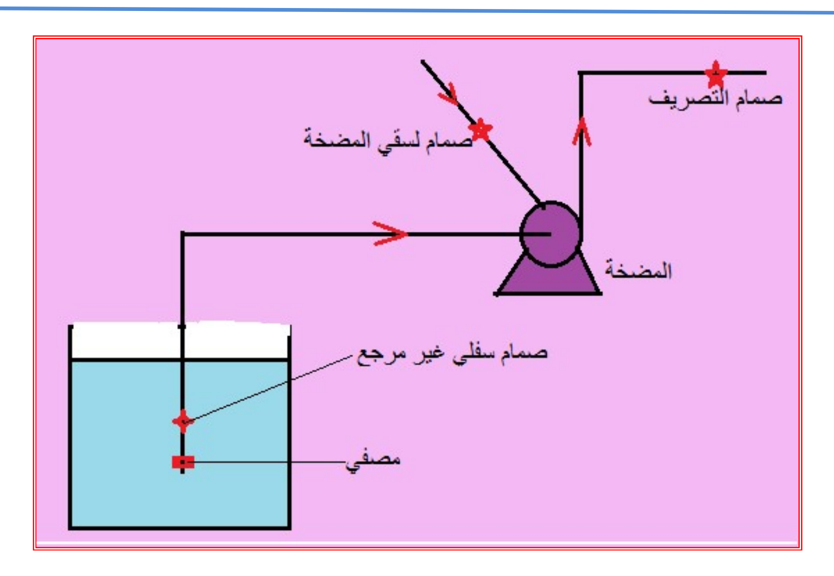
وتخضع الشبكات في حالة نصب المضخات إلى معادلة الطاقة لتكون في هذه الحالة:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + h_p = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_L$$

إذ أن:

h_p ضغط المضخة، h_L الخسائر الرئيسة والثانوية.

وفي حالة المضخات المستعملة لسحب السائل من موقع منخفض، مثل سحب الماء من الآبار فيتطلب ذلك نصب مصفي وصمام غير مرجع في بداية أنبوب السحب يسمى الصمام السفلي (Foot Valve)، وكما هو مبين في الشكل (6-5).



شكل 6-5 مضخة لسحب السائل من منسوب منخفض

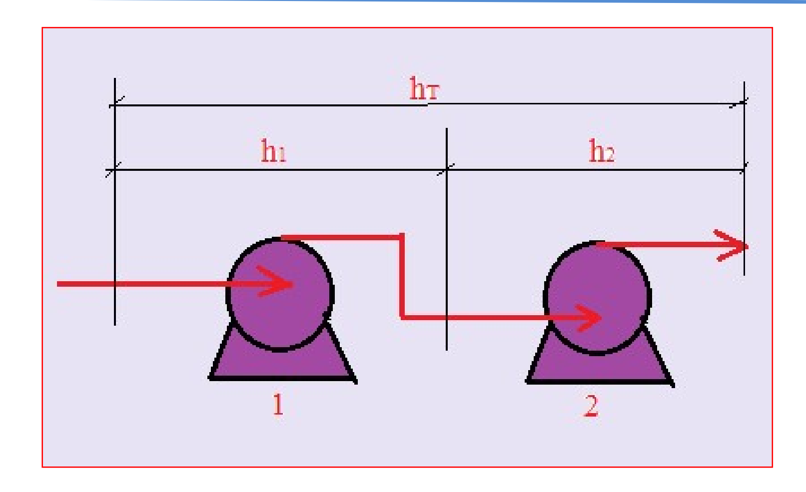
6-4 طرق ربط المضخات Pumps Connection Methods

يتطلب ضخ السوائل أحياناً استعمال اكثر من مضخة واحدة، ويمكن ربط المضخات اما على التوالي أو على التوازي، أو قد تتطلب الحاجة أحياناً إلى الطريقتين مع بعض، بحسب متطلبات عمل الشبكة.

ربط التوالي للمضخات يستعمل لغرض زيادة ضغط المائع (زيادة منسوب الارتفاع)، وكما هو موضح في الشكل (6-6) حيث يتصل أنبوب الدفع للمضخة الأولى بأنبوب السحب للمضخة الثانية فيصبح العمود الكلي الناتج من المضختين (h_T) الذي يساوي مجموع العمودين (h_1) و (h_2)، بينما يبقى التصريف ثابتاً، وكما في أدناه:

$$h_T = h_1 + h_2$$

$$Q_T = Q_1 = Q_2$$

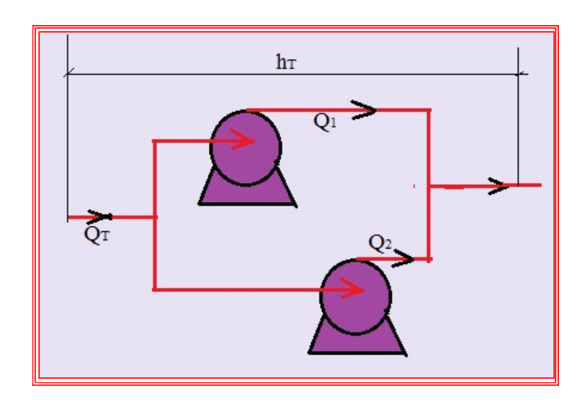


شكل 6-6 ربط مضختين على التوالي

أما ربط التوازي فيستعمل لغرض زيادة كمية التصريف في الشبكة ولا تكون هنالك زيادة في الضغط (ارتفاع المنسوب) فسوف يصبح العمود الكلي ثابتاً، بينما يصبح التصريف مساوياً لما تدفعه المضختان، كما هو مبين في الشكل (6-7). يكون مقدار كمية التصريف والضغط كالآتي:

$$h_T = h_1 = h_2$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$



شكل 6-7 ربط مضختين على التوازي

في بعض الشبكات الكبيرة والمعقدة يتطلب الأمر نصب مجموعة من المضخات يربط جزء منها على التوالي والآخر على التوازي لزيادة الضغط والتصريف ويسمى هذا النوع من الربط بالربط المختلط.

5-6 قدرة وكفاءة المضخات Power & Efficiency of Pumps

تُعرف القدرة (Power) على أنها الطاقة المبذولة في وحدة الزمن، ووحداتها هي (J/sec) أو (واط W)، تجهز المضخة عادة بمقدار معين من الطاقة سواء كانت طاقة كهربائية أم طاقة مستمدة من الوقود فتقوم بتحويلها ميكانيكياً إلى الشغل الذي يصرف على دفع السائل في المنظومة. علماً إن القوة التي يكتسبها المائع من المضخة تساوي الشغل مضروباً في معدل الجريان وكالآتي:

$$P = \gamma \times Q \times h_p$$

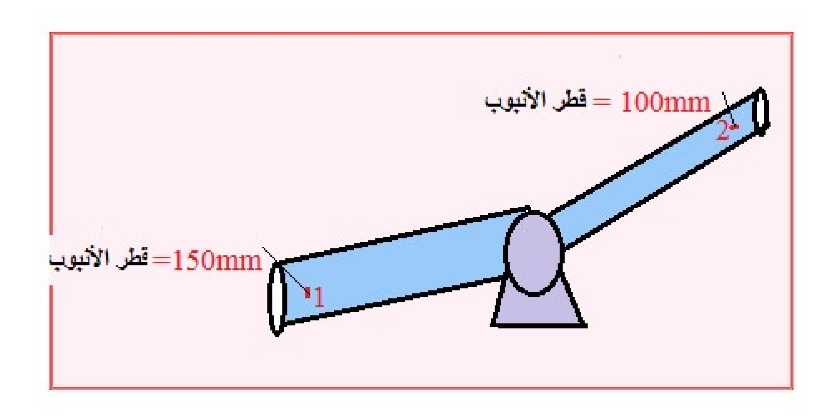
أما الكفاءة (Efficiency) فتعرف بأنها مقدار الطاقة الخارجة من الجهاز التي يُستفاد منها مقسوماً على الطاقة المجهزة للجهاز، إذ يتبدد جزء من الطاقة في المضخة أثناء تحويلها من شكل إلى آخر بسبب الاحتكاك أو تسرب الطاقة الحرارية منها مباشرةً إن وجدت، وفي حالة استعمال محرك كهربائي لتشغيل المضخة هنالك خسائر تتعلق بقدرة المحرك الكهربائي وحسب الكفاءة الكهربائية للمحرك، فضلاً عن ضياع الطاقة بسبب الاحتكاك، ويرمز للكفاءة بالرمز (η).

$$\eta = \frac{\text{Output Power}}{\text{Input Power}}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

مثال 1

في الشكل (6-8) الموضح أدناه، احسب قدرة المضخة إذا علمت أن معدل الجريان يساوي (28لترا\ ثا) وقراءة المانومتر بين النقطتين تساوي 30 م، ثم جد مقدار القدرة الداخلة للمضخة إذا كانت كفاءتها تساوي (85%).



شكل 6-8 مخطط المثال (1)

الجواب

المتر المكعب يساوي 1000 لتر، إذاً 28 لتر/ ثا = 0.028 م^3/ثا

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{4\times0.028}{\pi\times0.15^2} = 1.6 \text{ m/sec}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{4\times0.028}{\pi\times0.1^2} = 3.6 \text{ m/sec}$$

نطبق معادلة حفظ الطاقة بين النقطتين (1،2)

$$(v_1{}^2/2g) + (P_1/\gamma) + (Z_1) + h_p = (v_2{}^2/2g) + (P_2/\gamma) + (Z_2) + h_L$$

بما أنه أعطى في منطوق السؤال فرق المانومتر بين النقطتين ذلك يعني أن الحاصل الجبري لحدود الضغط والمنسوب يكون لصالح الطرف الأيمن (بعد المضخة).

كذلك لم يذكر في السؤال إن الأنابيب خشنة، لذا تهمل خسائر الاحتكاك الرئيسة، ومن الشكل ولعدم وجود ملحقات أو صمامات لذا لا تعتبر هنالك خسائر ثانوية، أي يعتبر المقدار (h_L) يساوي صفر.

تصبح معادلة الطاقة كالآتي:

$$\frac{1.6^2}{2\times9.81} + h_p = \frac{3.6^2}{2\times9.81} + 30$$

$$h_p = 30.5 \text{ m}$$

$$P_{out} = \gamma \times Q \times h_p$$

$$P_{out} = 9810 \times 0.028 \times 30.5 = 8377.7 \text{ W} \approx 8.4 \text{ kW}$$

$$\eta = P_{out} / P_{in}$$

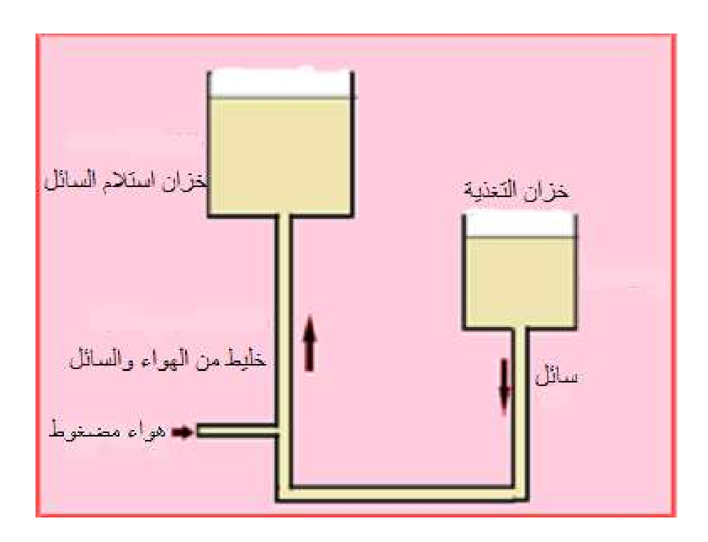
$$0.85 = \frac{8.4}{P_{in}} \Longrightarrow P_{in} = 9.8 \text{ kW}$$



عند تطبيق معادلة الطاقة بين نقطتين إحداهما قبل المضخة والأخرى بعدها فيتم إضافة قدرة المضخة للنقطة التي قبل المضخة، بينما تضاف خسائر الاحتكاك للنقطة التي تلي المضخة.

6-6 استعمال الغاز المضغوط لضخ السوائل

يستعمل الهواء المضغوط لنقل المواد الكيميائية من موقع إلى آخر في الوحدات الصناعية، كما يستعمل لتفريغ الأوعية من السوائل المسببة للتآكل والصدأ، وتُعد المضخة الرافعة بالهواء أهم وسائل الضخ التي تستعمل الهواء المضغوط، وتتألف هذه المضخة من ذراعين أحدهما قصير متصل بخزان تغذية السائل، والآخر متصل بالخزان المراد ضخ السائل إليه. ويحقن الهواء المضغوط في أسفل الذراع الطويل فيسحب السائل معه ويندفع مزيج السائل والهواء إلى الأعلى، لاحظ الشكل (6-9). ورغم أن كفاءة المضخة منخفضة مقارنة بمضخة الطرد المركزي إلا أنها تستعمل بكثرة لضخ النفط الخام من الآبار.



شكل 6-9 المضخة الرافعة بالهواء

أسئلة الفصل السادس

س1) عرف المضخة، واذكر أهم العوامل التي تؤخذ بنظر الاعتبار عند اختيار نوعها، وأهم الملاحظات اللازمة عند نصب المضخات.

س2) ماهي ظاهرة التكهف، اذكر أسبابها، وطرائق الوقاية منها.

س3) علل ما يأتي:

1. كلفة شبكة تستعمل مضخة الطرد المركزي أعلى بكثير من غيرها من أنواع المضخات.
2. تستعمل المضخات ذات المسننات في ضخ المواد اللزجة الناتجة عن التقطير في الصناعات النفطية.
3. استعمال مصفي في أنبوب السحب في المضخة عند نصب المضخات.

س4) عرف الربط المختلط، ومتى يُلجأ إليه، اذكر أسباب ذلك.

س5) عرف الصمام السفلي (Foot Valve).

س6) مضخة تستعمل لرفع الماء من الطابق الأرضي إلى سطح البناية من خلال أنابيب قطرها (100 ملم) وبسرعة ضخ مقدارها (15 م\ ثا)، فإذا كان ضغط المضخة يساوي (30 م) وكفاءتها (90%) احسب القدرة الخارجة منها.

ج/ (31.5 kW)

س7) مضخة بقدرة (7.5 كيلو واط) وكفاءة قدرها (70%)، تم توصيلها بخط أنابيب بتصريف مقداره (0.1 م^3\ ثا) وكان قطر خط السحب (15 سم) وقطر خط الدفع (12 سم)، فإذا كانت المضخة تقع على ارتفاع (1 م) من الخزان السفلي للماء وكان ضغط خط السحب (70 كيلو نيوتن\ م^2)، احسب الضغط عند حافة الضخ بوحدات المتر.

ملاحظة: استخدم معادلة الطاقة بين نقطتي السحب والضخ بعد استخراج السرع.

ج/ (9.2 m)

الباب الثاني

الخصائص الكيميائية والفيزيائية للماء

Chemical & physical Characteristics of Water

الأهداف

الهدف العام:

يهدف هذا الباب إلى التعرف على مبادئ علم الهيدروليك وخصائص الموائع والمعادلات الأساسية التي لها علاقة بالموضوع.

الأهداف الخاصة:

نتوقع أن يكون الطالب قادراً على أن:

1. يتعرف على آلية جمع العينات.
2. يتعرف على المحاليل القياسية.
3. يتعرف على نوعية الماء وجودته.
4. يتعرف على متطلبات الماء الصالح للشرب.
5. يتعرف على الخصائص الفيزيائية للماء.
6. يتعرف على المواد العالقة والذائبة والراسبة.
7. يتعرف على الخصائص الكيميائية للماء.
8. يتعرف على طرق التبادل الأيوني.
9. يتعرف على ضرورة التبادل الأيوني.
10. المواد المستعملة في التبادل الأيوني.

الفصل السابع

نوعية المياه

Water Quality

الفصل 7

محتويات

تعلم المواضيع

- العوامل المؤثرة على نوعية المياه.
- تأثير نوعية المياه على صحة الإنسان.
- مظهر الماء.
- رائحة الماء.
- فحوصات الماء.
- جمع العينات.
- متطلبات الماء الصالح للشرب.
- الآثار الصحية لبعض المواد الموجودة في المياه.
- المواصفات العالمية لمياه الشرب.

نوعية المياه



نوعية المياه

Water Quality

1-7 مقدمة Introduction

يختلف مفهوم نوعية المياه من شخص لآخر، استناداً إلى الطريقة أو التطورات التي يقترب فيها أولئك الأشخاص من هذا المفهوم. وعموماً فإن نوعية المياه تعني جميع الخصائص جيدةً كانت أم سيئة، والمتعلقة بقبول تلك المياه من ناحية الغرض من استعمالها، ومن الناحية الفنية فإن هذه الخصائص يمكن أن تكون فيزيائية وكيميائية وبيولوجية، والتي يستدل من خلالها على نوعية المياه المطلوب استعمالها .

وعند تفسير مقادير خصائص المياه تظهر تغيرات واضحة في مفهومها وصلاحيتها لاستعمال تلك المياه لغرض ما، بسبب اختلاف وجهات نظر المشتغلين بها. فالصناعي مثلاً يفهم نوعية المياه باتجاه معين، في حين يفسرها صياد السمك من وجهة نظر أخرى مختلفةً تماماً عن الاتجاه الأول، كما إن محبي الطبيعة يفسرون نوعية المياه من خلال جماليتها واستخداماتها المفيدة في السياحة وأنواع الرياضة المختلفة، ليأتي بعد ذلك مختصو البيئة ليفسروها تفسيراً يختلف عن كل المفاهيم المذكورة أعلاه وهكذا.

لعل هذه الاختلافات في تفسير نوعية المياه هي التي أدت إلى وجود التفاوت الواضح في وجهات نظر المشتغلين بهذا الحقل، مما يحدد أهمية وكفاية البيانات المتحصلة حول نوعية المياه لأن تصلح لغرض معين، أم يجب أن تُتخذ بعض الإجراءات أو تعد البيانات كي تكون نوعية المياه مستوفية للشروط المطلوبة لذلك الغرض من الاستعمال.

سيتم في هذا الفصل مناقشة هذه الأفكار وتقديم بعض المعايير المهمة التي يكثر استخدامها لغرض تحديد نوعية المياه.

2-7 العوامل المؤثرة على نوعية المياه

Factors Affecting the Water Quality

إن تدني وتدهور نوعية المياه يحدث عندما يتم تحميل البُنى التحتية الخاصة بمعالجة مياه الصرف الصحي المنزلية والمياه الصناعية فوق طاقتها التصميمية، أو في حالة عدم وجود هذه البُنى التحتية أصلاً، أو بسبب قدمها وتصريف النفايات الملوثة السائلة والصلبة بشكل مباشر إلى البيئة المحيطة، ثم إلى المياه السطحية أو الجوفية. وقد يكون تحسين وتوسيع البُنى التحتية مكلفاً للغاية

ولهذا فإنــه لا يسايـــر التطـورات السريعة بشكل عام. ولذلك تبرز إدارة المياه الملوثة كنوع من التحدي العالمي الكبير. وفضلاً عن هذا، فإن الإنتاج الزراعي والصناعي يؤدي إلى نشوء مشاكل تلوث جديدة، التي بدورها أصبحت من بين أكبر التحديات التي تواجه موارد المياه في أنحاء كثيرة من العالم.

إن نوعية المياه تتأثر كذلك بكميات المـواد العضوية المجودة في مياه الصرف الصحـي، وبالعوامل الممرضة ومن بينها الفيروسات الموجودة ضمن التدفقات السائلة الناتجة عن المخلفات المنزلية، عن طريق الجريان المطري عبر الأراضي الزراعية التي تؤدي إلى استنزاف الأوكسجين ونشوء ظاهرة النمو الطُحلبي ضمن المتسلمات المائية، ومن تملح التربة الناتج عن الري وعن عمليات تحويل اتجاه المياه، وبالمعادن الثقيلة، وبالتلوث النفطي، وبالتلوث الحراري بسبب عمليات التبريد الصناعي وعمليات التخزين.

كما يؤثر تغير المناخ، وخاصة ارتفاع درجات الحرارة والتغيرات في الأنماط الهيدرولوجية، مثل حالات الجفاف والفيضانات، في نوعية المياه ويزيد من تلوثها بالرواسب والمغذيات والكربون العضوي المنحل، والمبيدات الحشرية والأملاح، وكذلك التلوث الحراري .فضلاً عن ذلك، فمن المتوقع أن يؤدي ارتفاع منسوب مياه البحر إلى توسيع المناطق التي تزداد فيها ملوحة المياه الجوفية ومصبات الأنهار وبالتالي يؤثر ذلك على وفرة المياه العذبة للبشر وللنظم البيئية في المناطق الساحلية.

3-7 تأثير نوعية المياه على صحة الإنسان

Water Quality Affect Human Health

تُعد النوعية الكافية للمياه أساسية لضمان وجود بيئة سليمة لضمان صحة الإنسان. إن الاحتياجات الأساسية لأغراض الشرب والمرافق الصحية للشخص الواحد في اليوم تتراوح من 20 إلى 200 لتر من المياه الخالية من الملوثات الضارة والعوامل الممرضة، ويرتفع هذا الرقم إلى 300 لتراً اعتمادا على الجانب الحضاري وتطور المجتمع.

لكن في بعض البلدان، لا يتم توفير كمية المياه اللازمة يومياً للشرب والمرافق الصحية بالنوعية المطلوبة. فالبلدان النامية التي تشهد توسعاً عمرانياً سريعاً تعاني من نقص مرافق معالجة مياه الصرف الصحي وهو ما يؤدي إلى تلوث مياه الشرب، وبذلك يصبح سبباً رئيساً للمرض والموت.

واستناداً إلى منظمة الصحة العالمية، تحدث 4 مليارات حالة من الإسهال كل عام فضلاً عن ملايين الحالات الأخرى من الأمراض التي ترتبط بنقص الحصول على المياه الآمنة للاستهلاك البشري. ويموت كل عام 1,7 مليون شخص بسبب الإسهال، معظمهم من الأطفال دون سن الخامسة. وتتأثر صحة الإنسان بصورة خطيرة بسبب الأمراض المتعلقة بالمياه (مثل الكوليرا والتيفوئيد).

وعلى الرغم من التحسن التدريجي في توفير خدمات الصرف الصحي منذ عام 1990، فإن توفير المياه الصحية ، ثم في والصرف الصحي لقطاعات كبيرة من السكان لا يزال يمثل تحدياً كبيراً، لا يزال هناك 1,1 مليار من السكان في جميع أنحاء العالم لا يستطيعون الحصول على إمدادات مياه سليمة ومحسنة، وهناك أكثر من 2,6 مليار من السكان لا يستطيعون الحصول على خدمات صحية محسنة. وتوجد الثغرات الأكبر في أفريقيا بجنوب الصحراء الكبرىغرب آسيا وآسيا الأوروبية بدرجة أقل.

4-7 مظهر الماء Water Appearance

يُعد مظهر الماء على الأغلب هو المؤشر الواضح لنوعية المياه الذي يقوم الناس بملاحظته، ولكنه لا يعتبر مؤشراً دقيقاً لصحة المجرى المائي ويتم أخذه بعين الاعتبار بشكل أفضل عندما يتم ربطه ببيانات أخرى سوف تقوم بجمعها، أما المجاري المائية الكبيرة فتتفاوت في المدى ومن الصافية إلى البنية، بينما تُعد المجاري المائية الصغيرة في الأغلب صافية بلورية، كما في الشكل (7-1).



شكل 7-1 جمالية ونقاوة الماء

إما ألوان المجرى المائي المألوفة ومسبباتها المحتملة فهي كالآتي:

أ ـ البني: ينتج على الأغلب من تحلل المواد العضوية في المجرى المائي، وغالباً ما تكوَن المجاري المائية التي يتم تصريفها إلى الأراضي الرطبة بقعة بنيّة قاتمة جداً.

ب ـ الصافي: ترتبط هذه الصفة مع المياه ذات الحجم الكبير، ولكن ربما يتم تلوث المياه الصافية بمواد عديمة اللون. وتؤشر المياه الصافية جداً من دون أية كائنات حية إلى مشكلة تلوث خطيرة.

ج ـ الزبد: ينتج من الطحالب العائمة أو تحلل المواد النباتية.

د ـ اللمعان المتعدد الألوان: اللمعان الكثيف يؤشر إلى زيوت طافية من عمليات التخلص من النفايات أو الجريان من المجاري، والطرق ومناطق وقوف السيارات. وينتج اللمعان الخفيف عن التحلل الطبيعي للنمو الخضري.

هـ ـ الرغوة: إذا كانت الرغوة رقيقة إلى حد ما بارتفاع أقل من (15) سم فوق سطح الماء، ورمادية فأنها ناتجة عن زيوت طبيعية، وحبيبات تربة وحبوب اللقاح. أما الرغوة السميكة (أكبر من 15 سم فوق سطح الماء) فإنها ناتجة عن مواد تنظيف أو جريان فضلات حيوانية.

و ـ الحليبي: يؤشر هذا اللون إلى تصريف لب الخشب أو صناعة الورق، وعمليات صناعة الألبان أو رسوبيات طبيعية.

ر ـ العكارة: تنتج من الكميات العالية من الرسوبيات وكذلك تعتبر مؤشراً على الانجراف في أعلى المجرى المائي، آخذين بعين الاعتبار نوع وموقع المجرى المائي، وكمية الرسوبيات، والعواصف الجديدة، أو الحوادث الموسمية مثل ذوبان الثلوج.

ز ـ البرتقالي/ الأحمر: يشير إلى جريان من المناجم أو آبار البترول، وربما ينتج بشكل طبيعي من الصرف من خلال التربة الغنية بالحديد أو التنيك (حامض التنيك).

ح ـ الأخضر: الماء المخضر قليلاً ينتج من وجود نباتات صغيرة جداً أو طحالب وفي العادة يشير إلى ظروف صحية (غير ملوثة). وينتج الأخضر الداكن من الوفرة الزائدة للطحالب (العوالق النباتية)، أحمال المغذيات المركزة من الأسمدة، والفضلات الحيوانية، وكذلك سوء معالجة مياه الفضلات غالباً ما تشجع على تركز كميات كبيرة من الطحالب.

5-7 رائحة الماء Water Odor

تُعد الرائحة عبارة عن وسيلة أخرى مفيدة ولكنها محدودة والتي يجب أن يتم اعتبارها بالاشتراك مع مؤشرات أخرى، وأهم الروائح المألوفة والتي تنتج من كل من المياه الملوثة وغير الملوثة هي كالآتي:

أ ـ رائحة البيض المتعفن: وهي رائحة كبريتية التي غالباً ما تشير إلى تلوث المياه بفضلات المجاري أو الحيوانات، وعملية التحلل اللاهوائي (من دون الأوكسجين) وكذلك المعادن التي يتم إطلاقها من ينابيع الكبريت أيضاً تبعث هذه الرائحة.

ب ـ رائحة الكلور: هذه الرائحة تنتج من الكلوَرة المتركزة لمياه الصرف الصحي المعالجة.

6-7 الخلفية التاريخية Historical Background

يُعد توفر المياه بكمية كافية وأمينة ضرورياً لحياة الإنسان وبقائه، وقد انتبه القدماء إلى أهمية توفر المياه بالكم الكافي وقامت الحضارات العريقة حول الأجسام المائية التي كانت تجهز الماء الكافي لأغراض الزراعة والنقل فضلاً عن الشرب.

أما تطور مفهوم الإنسان لنوعية المياه فقد تطور ببطء حيث كان الاعتقاد السائد لوقت طويل إن مفهوم نوعية المياه تعني وجود الطعم والرائحة واللون ولا شيء غيرها، ومع بداية منتصف القرن التاسع عشر استدل الدكتور جون سنو John Snow العلاقة بين مياه الفضلات التي تطرح عن طريق مختلف الأنشطة البشرية إلى الأجسام المائية وبين الأمراض المختلفة، إذ وجد إن هنالك ارتباطاً وثيقاً بين حالات الإصابة بالكوليرا من الماء المجهز عن طريق الآبار الملوثة. وكمحاولة منه لمنع تفشي هذا المرض قام الدكتور سنو برفع المضخات المنصوبة على مثل هذه الآبار.

جاء بعدها العالم باستور وآخرون في نهاية القرن التاسع عشر اللذين أكدوا نظرية الأمراض المنتقلة بالمياه Diseases Waterborne. ونتيجة لذلك بدأت علوم كيمياء المياه والبيولوجيا بالتطور حيث أمكن بعدئذٍ معرفة العديد من المواد الكيميائية الموجودة في المياه نتيجة الاستخدامات الزراعية والصناعية.

ومع تطور العلوم وتطور فكر الإنسان تمكن من تصنيع العديد من الأجهزة والمعدات التي يمكن أن تستخدم في فحوصات المياه، وتم بواسطتها اكتشاف العديد من المواد الكيميائية التي كانت غير معروفة في السابق، فضلاً عن اكتشاف العناصر الاستدلالية Trace Element التي تستعمل في الاستدلال على وجود الملوثات .

7-7 فحوصات الماء Water Tests

من الضروري أن يمتلك الماء المستعمل لغرض معين بعض الخصائص المعينة التي تتطابق مع المواصفات الموضوعة لهذا الاستخدام، فعلى سبيل المثال يجب أن يكون الماء المجهز لأغراض الشرب سائغاً وخالياً من الشوائب غير المرغوبة. كما إن الماء المستخدم في صناعة معينة يجب إن يكون خالياً من المواد التي تؤثر على تلك الصناعة، وهكذا. ولغرض التأكد من صلاحية الماء المجهز لشتى الأغراض تُجرى عليه العديد من الفحوصات المختلفة للتأكد من مطابقة خصائص الماء المجهز وطبيعة تلك الأغراض.

تساعد هذه الفحوصات في الأمور الآتية:ـ

أ- يمكن تعيين أو تحديد الخط العام لعمليات التنفيذ المطلوبة استناداً إلى نتائج هذه الفحوصات.

ب- يمكن اعتماد هذه الفحوصات في التشغيل اليومي لمحطات تصفية المياه.

ج- التأكد من نوعية الماء الخام المُجهز ومحتواه من الشوائب.

د- التأكد من مطابقة الماء المُعالج الذي سيتم توزيعه للمستهلك مع المواصفات الموضوعة.

8-7 جمع العينات Samples Collection

يجري عادة أخذ عدة عينات من المياه ومن عدة مواقع لغرض جعل هذه العينات تمثل مصدر الماء المُجهز، ويُراعى عند أخذ العينات الملاحظات الآتية:-

1. إذا كان مصدر الماء حنفية فيجب أن تفتح الحنفية لبرهة من الزمن لتنساب خلالها كمية كافية من الماء قبل أخذ العينة، منعاً للتلوث الذي قد يحدث في الماء.
2. إذا كان مصدر الماء نهراً أو بحيرةً أو جدولاً فيجب أخذ العينة من عمق (40 -50)سم تحت سطح الماء وعلى مسافة تبعد (2-3)م عن حافة النهر، لتجنب جمع الشوائب المتراكمة على سطح الماء كأوراق الأشجار والزيوت وغيرها.
3. إذا كان مصدر الماء بئراً طبيعية أو محفورة فيجري ضخ كمية مناسبة من الماء قبل أخذ العينة.

وعادة تستعمل قناني بلاستيكية نظيفة لأغراض الفحوصات الفيزيائية، أما إذا كانت الفحوصات كيميائية فيجري أخذ العينات بواسطة قناني زجاجية نظيفة ومعقمة سعتها لترين فأكثر. وتجرى الفحوصات البكتريولوجية بكثير من الحذر حيث يتوجب في الشخص المعني بأخذ العينات أن يكون معافى من الأمراض، فضلاً عن ضرورة غسل القناني بحامض الكبريتيك ودايكرومات البوتاسيوم ومن ثم غمرها بالماء المقطر وتعقيمها، وبعد أخذ العينات تُغلف هذه القناني بإحكام وتغطى بقماش لمنع تراكم الغبار عليها وتلوثها. يُفضل في كل الأحوال إجراء الفحوصات على عينات الماء بأسرع وقت ممكن.

7-9 القواعد العامة لجمع عينات المياه

General Rule of Water Samples collecting

يجب عند جمع عينات مياه الشرب مراعاة الآتي:

- اتخاذ الاحتياطات اللازمة لحماية العينات، ومصادرها وأوعية جمع العينات من أي تلوث غير مقصود.
- أن يكون حجم العينات كاف لإجراء الاختبارات المطلوبة، وأن تُجمع العينات على فترات متقاربة لتسمح بإجراء الاختبارات الضرورية بدقة.
- أن تُجمع العينات وتُعبأ وتُنقل بطريقة تحمي المكونات أو الخصائص التي يُراد اختبارها من التغير.
- أن تكون الأوعية المستعملة لجمع العينات للاختبارات الكيميائية مصنوعة من الزجاج أو من اللدائن حسب نوع التحليل المطلوب.
- أن تكون سدادات أوعية العينات المخصصة للاختبارات الكيميائية والطبيعية من الزجاج أو اللدائن حسب نوع التحليل المطلوب وتكون نظيفة ومغسولة جيداً.
- أن تُجمع العينات بعناية جيدة، والتأكد من أن العينة تمثل المصدر المراد فحصه، مع تجنب التلوث غير المقصود للعينة في أثناء الجمع.
- عدم ملئ أوعية العينات حتى نهايتها عند جمع العينات.
- في حالة عدم تحليل العينات بشكل مباشر تُحفظ العينات عند درجة حرارة 4°س لمنع التبخر أو التحلل البيولوجي للمكونات المُراد تحليلها قبل الاختبارات التي تجرى للعينة.
- يُضاف حامض النتريك النقي مباشرة بعد عملية الترشيح حتى يصبح الرقم الهيدروجيني (2)، وذلك لمنع ترسب الكاتيونات على جدران العبوة في حال تحليل الكاتيونات.
- إضافة 0.1 مل من محلول ثيوكبريتات الصوديوم لزجاجة جمع العينات قبل تعقيمها إذا كانت المياه تحتوي على الكلور أو الكلورامين أو الأوزون لنزعها عند إجراء الفحص البيولوجي.

يمكن تلخيص القواعد التي يمكن استخدامها في جمع وحفظ العينات للفحوصات المختلفة من خلال جدول (7-1).

جدول 7-1 قواعد جمع وحفظ العينات

الفحص المطلوب	نوع العبوة	أقل حجم للعينة (مل)	طريقة الحفظ	الفترة الزمنية كحد أقصى للحفظ
درجة الحرارة	لدائن أو زجاج	100	يجرى الفحص مباشرة	15 دقيقة
الكلور المتبقي	لدائن أو زجاج	500	يجرى الفحص مباشرة	-
اللون والطعم	لدائن أو زجاج	500	التبريد عند 4°س	48 ساعة
التوصيل الكهربائي	لدائن أو زجاج	500	التبريد عند 4°س	-
العُسرة الكلية	لدائن أو زجاج	100	يضاف حامض النتريك والكبريتيك حتى يصل الـ pH إلى أقل من 2	6 أشهر
القاعدية	لدائن أو زجاج	125	التبريد عند 4°س	24 ساعة
النترات NO_3	لدائن أو زجاج	125	يجرى الفحص في نفس اليوم والتبريد عند 4°س	48 ساعة
الرقم الهيدروجيني	لدائن أو زجاج	500	يجرى الفحص مباشرة	15 دقيقة
الأمونيا	لدائن أو زجاج	125	يجرى الفحص في نفس اليوم و التبريد عند 4°س	7 أيام
العكارة	لدائن أو زجاج	500	يجرى الفحص في نفس اليوم أو الحفظ في زجاجات مع التبريد عند 4°س	24-48 ساعة
الكلوريدات	لدائن أو زجاج	50	التبريد عند 4°س	28 يوم
الكبريتات	لدائن أو زجاج	100	التبريد عند 4°س	28 يوم
الأملاح الذائبة الكلية	لدائن أو زجاج	500	التبريد عند 4°س	-

7- 10 متطلبات الماء الصالح للشرب Potable Water Requirements

7-10-1 معايير وجودة مياه الشرب

الهدف من معايير وجودة مياه الشرب هو حماية الإنسان من الأمراض والمواد السامة التي تنتشر عن طريق المياه والتي قد تؤدى إلى أمراض مزمنة أو سرطانية على المدى القريب أو البعيد طيلة حياة الإنسان، وتبدأ سلامة مياه الشرب وصلاحيتها للاستخدامات البشرية عند التأكد من:-

1. **حماية مصادر المياه من التلوث.**
2. **كفاءة طرق وخطوات التنقية واستخدام مواد مطابقة للمواصفات القياسية في معالجة المياه.**
3. **الالتزام بالمعايير والمواصفات المُعتمدة.**
4. **الرقابة الصحية على مصادر وخطوات التنقية والمياه المعالجة بالشبكات.**
5. **اكتشاف أي خطر يهدد سلامة المياه وصحة الإنسان واتخاذ الإجراءات اللازمة لمعالجته.**

وحسب تقارير منظمة الصحة العالمية فإن حوالي 80% من الأمراض بدول العالم الثالث يرجع سببها للمياه، وهنالك أربعة أنواع من الأمراض يدخل الماء كسبب رئيس لها مثل:-

1. **شرب المياه الملوثة يسبب أمراض الكوليرا والتيفوئيد والتهاب الكبد.**
2. **عدم توفر الماء النظيف للنظافة الجسدية يسبب أمراض الالتهابات الجلدية، التراكوما وحالات الإسهال المائي.**
3. **وجود طور ناقل للأمراض بالمياه مثل مرض الملاريا، داء الفيل والحُمى الصفراء.**
4. **دخول نواقل للأمراض عند تماس الماء بالجسد مثل مرض البلهارزيا.**

7-10-2 مواصفات المياه

1. عدم تواجد المواد الضارة بالصحة وإن وُجدت يجب أن لا تتعدى حدود معينة في المواصفة مثل:-

أ. **المبيدات.**

ب. **الأسمدة.**

ج. **المعادن الثقيلة كالرصاص.**

ح. **المواد السامة مثل السيانيد.**

هـ. **الميكروبات الممرضة** مثل بكتريا القولون، البكتريا السبحية البرازية، البرتوزوا.

2. مواد ليس لها آثار صحية ضارة ولكن غير مرغوب في وجودها مثل:

أ- اللون **ب - العكارة** **ج - الرائحة**

3. مواد يجب توفرها في الماء لحاجة الجسم لها وهي المعادن الأساسية بجسم الإنسان مثل:

أ - الكالسيوم **ب - المغنيسيوم** **ج - البوتاسيوم** **د - اليود**

7-10-3 تحاليل المياه

تخضع المياه لعدة تحاليل منها:

1- **تحليل ميكروبي**: لتقييم المحتوى البكتيري للمياه.

2- **تحليل فيزيائي**: لتحديد المعايير الخاصة بالصفات الطبيعية لمياه الشرب وتشمل الرقم الهيدروجيني (PH)، الطعم والرائحة، العكارة، الأملاح الكلية الذاتية، والموصلية.

3- تحليل كيميائي: لتحديد المواد غير العضوية وتشمل

العسرة الكلية، الحديد، النترات، المنغنيز، الزنك، الكبريتات، الفلوريد، الصوديوم، الكالسيوم، الكروم، الرصاص، النحاس، الكلوريدات، الكربونات والبيكربونات.

7-10-4 شهادة الجودة

تُقارن النتائج بالمواصفات القياسية المُعتمدة ومن ثم تصدر شهادة جودة أو عدم جودة المياه.

7- 11 الآثار الصحية لبعض المواد الموجودة في المياه

1- **النترات والنتريت:** إن الزيادة في نسب النترات والنتريت عن المعدل المسموح به تؤدى إلى زرقة الأطفال. وفي البيئة اللاهوائية مثل المعدة يتحول النتريت إلى مركب النيتروزامين الذى يسبب سرطان المعدة.

2- **الرصاص:** هو عنصر سام تراكمي داخل جسم الإنسان ويؤثر بشدة على الأطفال حتى عمر (6) سنوات وعلى الجنين والحوامل وتأثيره عاده يكون على الجهاز العصبي المركزي.

3- **الكروم:** هو عنصر يسبب التسمم ويؤثر علي الجينات الوراثية ويسبب السرطان خاصة (Cr^{+6}) عند وجوده في الماء.

4. **الكبريتات:** تسبب تآكل أنابيب شبكات المياه.

5. **الصوديوم:** لا يسبب تسمماً حاداً بسبب إفراز الكلى للصوديوم ولكن إذا كانت الكلى غير كاملة النمو فإنه يسبب قيء وتشنجات، كما يسبب ارتفاع ضغط الدم.

6. **الحديد:** له طعم مُر قابض عندما يكون تركيزه عالي ويساعد على نمو بكتريا الحديد كما يؤدي إلى تبقع الملابس والأدوات المعدنية والصحية.

7. **المنغنيز:** وهو أقل المعادن سُمية ويسبب طعم ورائحة وعكارة في المياه عند زيادته عن الحد المحدد له، كما قد يؤدي إلى أضرار صحية إذا انخفضت نسبته في جسم الإنسان مما يسبب ضعف النمو وعيوب العظام والجهاز التناسلي.

8. **الكلوريدات:** لا تسبب أعراضاً مرضية أو تسمماً إلا في حالات هبوط القلب.

9. **العكارة:** تقلل من فاعلية الكلور في تعقيم المياه. وهناك علاقة بينها وبين المحتوى البكتيري حيث تلتصق المواد الغذائية على سطح الجزيئات المسببة للعكارة مما يساعد على نمو البكتريا وتكاثرها.

10. **الرقم الهيدروجيني (PH):** يجب أن تستخدم مياه ذات رقم هيدروجيني متعادل.

11. **المواد الأخرى:** التي قد تتواجد في الماء تعتبر مواد سامة وخطرة في حالة ازدياد مقاديرها عن الحدود المسموح بها المذكورة في الجدول (7-2)

12-7 المواصفات العالمية لمياه الشرب

International Standards of Potable Water

يبين الجدول (2-7) الحد الأقصى المسموح به للشوائب المختلفة بوحدات (ملغم /لتر).

جدول 7-2 المواصفات العالمية للمياه الصالحة للشرب

الشوائب	مواصفات منظمة الصحة العالمية	مواصفات الاتحاد الأوربي	المواصفات الأمريكية	المواصفات العراقية
اللون TCU	15	20	15	10
المواد الصلبة الذائبة	1000	-	500	1000
العكارة	5	4	5-1	5
الرقم الهيدروجيني	8.5-6.5	8.5-6.5	8.5-6.5	8.5-5.5
العُسرة	500	500	500	500
الأمونيوم	-	0.5	-	0.2
النترات	-	0.5	-	-
النتريت	-	0.1	-	-
الفوسفور	-	5	-	-
الصوديوم	200	170-150	-	200
الكلوريد	250	25	250	250
الكبريتات	400	25	250	400
الفلوريدات	1.5	1.5-0.7	2	-
البورون	-	1	-	-
السيانيد	0.1	-	-	-
الألمنيوم	0.2	0.2	-	0.02
الزرنيخ	0.05	0.05	0.05	-
الباريوم	-	0.1	1	-
الكادميوم	0.005	0.005	0.001	-
الكروميوم	0.05	0.005	0.05	-
النحاس	1	1	1	1
الحديد	0.3	0.3	0.3	0.3
المنغنيز	0.1	0.05	0.05	0.1
الزئبق	0.001	0.001	0.002	0.001
النيكل	-	0.05	-	-
السلينيوم	-	0.01	0.01	-
الزنك	5	-	5	3

أسئلة الفصل السابع

س1) اذكر العوامل التي تؤثر في نوعية المياه.

س2) ماهي الأمراض التي تسببها المياه؟

س3) اذكر ألوان المجرى المائي المألوفة مع مسبباتها.

س4) ماهي أنواع الروائح التي تصدر من المياه الملوثة؟

س5) لماذا يتم فحص المياه المجهزة من محطات التصفية؟

س6) اذكر معايير المياه الصالحة للشرب.

س7) ماهي الآثار الصحية المترتبة من وجود المواد التالية في المياه:

المنغنيز، الحديد، الكبريتات، الرصاص، النترات والنتريت.

الفصل الثامن

الخصائص الفيزيائية للمياه

Physical Characteristics of Water

الفصل 

محتويات

الخصائص الفيزيائية للمياه

تعلم المواضيع

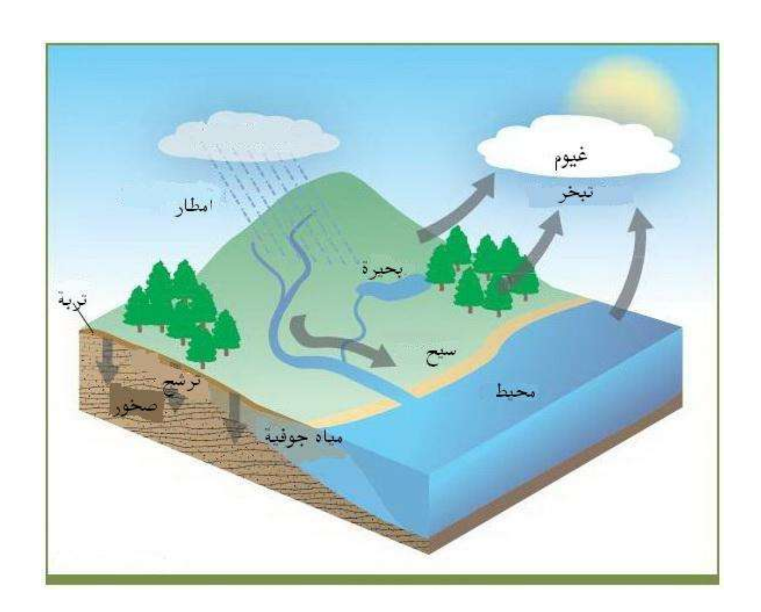
- الشوائب الموجودة في الماء.
- المواد الصلبة.
- العكارة والكدرة.
- اللون.
- الطعم والرائحة.
- درجة الحرارة.

الخصائص الفيزيائية للمياه

Physical Properties of Water

1-8 الشوائب الموجودة في الماء Impurities Existing in Water

إن فكرة الماء المطلق النقاوة لا وجود لها بتاتاً. فهذا الماء يحتوي على ذرتين من الأوكسجين وذرة واحدة من الهيدروجين ولا شيء سواهما. أما الماء المتواجد في الطبيعة فإنه يحتوي على عدد من الشوائب بمقادير مختلفة، حتى إن ماء المطر الذي يُعد نقياً نسبياً إلا أنه يمتص في أثناء سقوطه بعض الغازات والغبار وعند جريان المياه على سطح الأرض فإنها تجرف معها الغرين، والطين، وغيرها من الشوائب العضوية واللاعضوية لتصب في الأخير في الأنهار أو الجداول، كما مبين في الشكل (8-1).



شكل 8-1 دورة الماء في الطبيعة

إن لمعرفة وفهم الخصائص الفيزيائية للمياه أهمية بالغة وذلك لمعرفة مدى صلاحية المياه للاستهلاك البشري، ولتحديد مدى ملائمة وكفاءة عمل وحدات التنقية والمعالجة وشبكات المياه، ومن أهم هذه الخصائص ما يأتي:

2-8 المواد الصلبة Solid Materials

تعرف المواد الصلبة بأنها تلك المواد الكلية المتبقية عند التبخر والتجفيف عند درجة حرارة 103إلى 105 درجة سيليزية. وتقسم المواد الصلبة إلى:

1-2-8 المواد الصلبة الذائبة

تتكون من الأملاح غير العضوية وبعض التراكيز للمواد العضوية في المياه الصالحة للاستعمال. إن المياه التي تحتوي على كميات عالية من المواد الصلبة الذائبة لها قبول واستساغة أقل ولا ترضي المستهلك نفسياً، إما المياه المحتوية على نسبة عالية من المعادن فهي غير مقبولة للعديد من الصناعات. تنشأ المواد الذائبة نتيجة فعل الإذابة الذي يلعبه الماء عند تماسه بالمواد الصلبة والسائلة والغازية وهذه المواد قد تكون عضوية أو لا عضوية، تؤثر المواد الذائبة الكلية على نوعية المياه وكما يأتي:

1. **تقوم بإفراز الروائح وتكسب الماء لوناً مما يؤثر على جماليته، وتساعد في خلق ظروف لا صحية.**
2. **تكون بعض هذه المواد سامة في طبيعتها أو سرطانية فتؤثر بذلك على الصحة العامة.**
3. **عند اتحاد عنصرين ذائبين مع بعضهما فإنهما يكونان مركباً يختلف في خصائصه عن الطبيعة الأصلية لكل من العنصرين المتحدين.**
4. **هنالك حقيقة جديرة بالاهتمام والملاحظة هي أن المواد الذائبة ليست جميعها غير مرغوب بها فالماء غير المشبع قد يذيب المواد التي يتماس معها.**

قياس المواد الذائبة

يمكن قياس المواد الذائبة الكلية بصورة مباشرة بتبخير عينة من الماء المرشح لإزالة المواد العالقة حيث توزن الرواسب المتبقية التي تمثل المواد الذائبة الكلية وعادة ما يعبر عنها بوحدات ملغم\ لتر.

مجموع المواد الذائبة (Total Dissolved Solids (TDS:

هي مجموع المواد الصلبة الذائبة في الماء ذوباناً حقيقياً بحيث تبقى مع الماء بعد عمليات الترشيح . وهي قياس لنسبة ملوحة الماء. وتقاس إما بالنسبة المئوية (%) إذا كانت كميتها كبيرة مثل مياه البحر التي تحوي في المعدل 3.5 % مواد صلبة مذابة. أي 3.5 غم / 100 مل ماء أو يُقال 35 غم لكل لتر. وتُقاس أيضاً بأجزاء المليون (ppm) إذا كانت كميتها ضئيلة، كأن تقول إن المياه تحوي على خمسة أجزاء من المليون من الرصاص، ويمكن أن نحول كلا النسبتين إذا علمنا أن (1% = 100000) فتكون ملوحة مياه البحر تساوي 35000 جزء من المليون بينما تكون نسبة الرصاص المئوية في المثال السابق تساوي 0.0005 %.

تختلف المياه في نسبة الأملاح الذائبة بها، فمثلاً مياه الأمطار أقلها ملوحة خاصة عندما يكون الجو نظيفاً غير ملوث بحيث تذيب بعض المواد. مما يؤدي إلى زيادة المواد الذائبة في مياه الأنهار. وتكون

المواد الذائبة في المياه الجوفية أعلى من الأنهار بسبب مكوثها الطويل بين الصخور. إما البحيرات فتختلف ملوحتها تبعاً للموقع من الأرض وعملية التبخر وكمية المياه ومصادرها التي تمر عليها. وبشكل عام كلما كان مجموع المواد الذائبة أقل كانت أفضل للشرب والاستخدام. ويمكن قياس مجموع المواد الذائبة بعدة طرائق، فمثلاً يمكن أن يؤخذ حجم محدد بدقة من الماء في كأس ثم تسخينه حتى يتبخر الماء جميعه فتكون المواد المتبقية في الكأس هي المواد الذائبة التي يُراد التعرف على نسبتها يتم وزنها وتُحسب نسبة وزنها إلى حجم الماء.

غير أن طريقة التوصيل الكهربائي Electrical Conductivity أسهل من الطريقة السابقة وأكثر سرعة، إذ أن فكرتها الأساسية هي إنه كلما زادت المواد الذائبة في الماء كلما سهل مرور التيار الكهربائي، فالمياه المالحة أسهل توصيلاً للكهرباء من المياه العذبة وبالتالي تعطي قراءات أعلى من المياه العذبة. وبعبارة أخرى تكون المياه أكثر ملوحة كلما ارتفعت قيمة التوصيل الكهربائي. ويمكن استعمال العلاقة التقريبية الآتية لتحويل التوصيل الكهربائي إلى مجموع المواد الذائبة على درجة حرارة 25°س بوحدات (ملغرام\ لتر):

$$\mathbf{TDS = EC \times 0.64}$$

إذ أن ميكروسيمنز \ سم هي وحدة قياس التوصيل الكهربائي التي يقرأها الجهاز.

والطريقة الأكثر دقة في تحديد مجموع المواد الذائبة هي تحليل الأملاح الذائبة في المياه والتي تمثل الأيونات الرئيسة الموجبة والسالبة مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد والكبريات والبيكربونات والنترات ومجموع هذه الأملاح يُقاس بالجزء من المليون أو الملغرام \ لتر يمثل مجموع المواد الذائبة، إما فيما يتعلق بما تحويه المياه من مواد ذائبة أخرى فتراكيزها قليلة بحيث لا تؤثر على المجموع الكلي للأملاح، وبشكل عام فإن نوعية الأيونات المذابة في المياه تقوم بدور هام في تحديد استعمالات المياه ومن أهم هذه الأيونات:

1- الحديد Fe : يؤثر وجود أيون الحديد المذاب في المياه تأثيراً كبيراً على إمكانية استعمال المياه ويعتبر وجود الحديد الذائب بتركيز أكبر من 0.3 جزء من المليون غير مرغوب في كثير من الصناعات والاستعمالات المنزلية كونه يؤثر على الملابس وأدوات وأجهزة المطابخ فضلاً عن إعطاء المياه رائحة غير محببة، ويوجد الحديد عادة على شكل الحديد الثنائي Fe^{+2} الحديدوز والحديد الثلاثي Fe^{+3} (الحديديك ويتحول الحديدوز) بسهولة عند تعرضه للهواء الحاوي على الأوكسجين إلى حديديك، والحديديك قليل الذوبان حيث يترسب على شكل هيدروكسيد الحديديك $Fe(OH)_3$ وهذا يشجع بكتريا الحديد التي تنمو في مجموعات غروية مع أكاسيد الحديديك مما يؤدي إلى إغلاق مسام مصافي الآبار ويقلل من نفاذيتها وإنتاجية الآبار.

2- المنغنيز Mn: يشبه المنغنيز إلى حدٍ كبير أيون الحديد إذ تتحول بيكربونات المنغنيز إلى هيدروكسيد المنغنيز القليل الذوبان مما يشجع على تواجد بعض أنواع البكتريا اللزجة والتي تعمل على إغلاق مسامات مصافي الآبار. ويمكن معالجة مشكلة مصافي الآبار بإضافة محلول هكسا-ميتافوسفات الصوديوم Sodium Hexa – Meta phosphate الذي يذيب مكونات الحديد والمنغنيز ويمنع ترسبهما.

3- الصوديوم Na: عنصر الصوديوم من الفلزات الشائعة في الماء. ويؤثر الصوديوم سلباً على استخدامات الماء في الزراعة حيث يكسب التربة خصائص قلوية ويقلل من نفاذيتها. ولا توجد مخاطر صحية للصوديوم في مياه الشرب حيث يعبر عنه بصفة مستساغ.

4- الكلوريدات Cl^-: يتفاوت تركيز الكلوريدات في المياه من منطقة لأخرى اعتماداً على الوضع الجيولوجي والهيدرولوجي للخزان الجوفي والصخور التي تجري فوقها المياه السطحية والتراكيز المرتفعة للكلوريدات (ما بين 250 و 350 جزء من المليون) التي تجعل المياه غير مستساغة للاستعمال المنزلي والصناعي.

5- الكبريتات $S0_4^=$: مصدر الكبريتات في المياه الجوفية أو السطحية ذوبان طبقات الجبس من مرور المياه خلال أو فوق الطبقات الصخرية الحاوية على الجبس أو تأكسد الكبريتيدات مثل (كبريتيد الحديد).
وإذا ما احتوت المياه على أملاح كبريتات المغنيسيوم والصوديوم فإنها تميل إلى المرارة في الطعم وإذا تركز الصوديوم في التربة أثر سلباً على بعض النباتات فضلاً عن تأثيره على نفاذية التربة.

2-2-8 المواد الصلبة العالقة Total Suspended Solids

تكون هذه المواد إما غير عضوية مثل الطين والغرين أو تكون عضوية مثل ألياف النبات والمواد الصلبة الحيوية كالطحالب والبكتريا. وتعرف المواد الصلبة العالقة بأنها تلك المواد التي يمكن فصلها بالترشيح من خلال ورقة الترشيح. والمياه الحاوية على مواد صلبة عالقة غير مرغوبة للاستحمام، كما إنها تمثل مناطق امتزاز للمواد الكيميائية والحيوية. تتألف المواد العالقة في الماء من جسيمات عضوية أو لا عضوية. فالنوع الأول يضم على سبيل المثال أنسجة النباتات وخلايا الطحالب والبكتريا، الخ. في حين يتمثل النوع الثاني بجسيمات الغرين والطين ومكونات التربة الأخرى.

تصل المواد العالقة إلى الماء نتيجة التعرية والرياح، كما تتولد هذه المواد نتيجة مختلف الأنشطة البشرية. فمياه الفضلات المنزلية تحتوي على كميات كبيرة من هذه المواد والتي يغلب على طبيعتها العضوية. كما إن الاستخدام الصناعي يضيف مواداً عالقة بكميات كبيرة فضلاً عن أن تلوث الماء ببقع الزيت والدهون يمثل هو الآخر أحد مصادر المواد العالقة في الماء.

إن تأثير المواد العالقة على المياه يأخذ عدة وجوه، أهمها ما يأتي:

1. تشويه الناحية الجمالية للماء من خلال تسببها في زيادة تركيز العكارة في الماء.

2. تمنـــع وصول الشمـــس والهواء إلى الأعمـــاق فتـــؤثر بـــذلك على عملية التركيب الضوئي على أنشطة الحياة المائية.
3. لما كانت هذه المواد عضوية في طبيعتها، فإنها تتحلل وتتفسخ مستنفدة بـــــذلك الأوكسجين المـــذاب الموجـــود في الماء وبذلك تؤثر عـــلى حياة الكائنات المائية وبخاصـــة الأسماك، كما إن نقصـــان الأوكسجيـــن المذاب في المـــاء يعمـــل علـــى ظهور الطعم والرائحة فيه ويخلق بذلك ظروفاً لا صحية.
4. إن تحلل المواد العالقة قد يفـــرز مواداً سامة تؤثر على استخدام الماء في النواحي الصحية ناهيك عن التأثير الذي تلحقه عند استخدام الماء للأغراض المختلفة.
5. تعمل المواد العالقة عند ترسبها في القعر على تقليل السعة الخزنية للجسم المائي وبخاصة الخزانات، كما قد يتولد عنها قنوات (Channels) تعيق الملاحة وتعيق استخدام الجسم المائي في النواحي السياحية والترفيهية.

قياس المواد العالقة

يوجد العديد من الفحوصات لقياس المواد العالقة معظمها يعتمد الجانب الوزني (Gravimetric)، ويتضمن فحص المواد العالقة في الماء سواء كانت عالقة أو مذابة، عضوية أم لا عضوية. وتتلخص الطريقة بتجفيف العينة بدرجة حرارة (104ْس) ووزن المواد المتبقية، وعادةً يعبر عن الكمية الكلية بوحدة ملغم\ لتر أو جزء بالمليون.

الطريقة الأخرى هي ترشيح عينة الماء وبعد تجفيف الراسب المتبقي بدرجة حرارة (104°C) يمكن تعيين الكتلة المتبقية على المرشح والتي تمثل المواد العالقة. إما المواد الذائبة فتمثل الفرق بين المواد العالقة الكلية والمواد العالقة المتبقية على الراشح. وتجدر الإشارة هنا إلى أن ترشيح عينة الماء لا يعطي مقدار المواد العالقة بصورة دقيقة حيث إن بعض الغرويات (التي هي مواد عالقة) قد تنفـــذ خـــــلال الترشيح وتحسب ضمن المـــواد الذائبة ، كما إن بعض المواد المذابة قد تمتص على ورقة الترشيح وتحسب ضمن المواد العالقة.

مثال 1

جرى ترشيح عينة من الماء، احسب تركيز المواد العالقة في هذه العينة. إذا كانت النتائج كما يأتي:

1- وزن البودقة وورقة الترشيح بعد إجراء عملية الترشيح = 54,352غم

2- حجم الماء المترشح = 250 مليلتر

3- وزن البودقة وورقة الترشيح بعد تجفيفها بدرجة 104ْس = 54,398 غم

الحل

وزن المواد العالقة = 54,398 – 54,352 = 0,046 غم = 46 ملغم

تركيز المواد العالقة = (وزن المواد العالقة × 1000 مل \ لتر) / حجم العينة (مل)

$$= \frac{1000 \times 46}{250} = 184$$ ملغم \ لتر

3-2-8 المواد الصلبة الطيارة والثابتة Volatile and Fixed Solids

وهذه المواد تعطي مقياس لكمية المواد العضوية الموجودة في العينة ويتم هذا الاختبار بحرق المواد العضوية ومن ثم تحويلها إلى ثاني أوكسيد الكربون والماء عند درجة حرارة متحكم بها وتصل إلى 550 درجة سيليزية، وذلك بغية منع تحلل وتطاير المواد غير العضوية.

4-2-8 المواد المترسبة

وهذه يقصد بها المواد العالقة التي يمكن ترسيبها في حالة سكون تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية.

أما بالنسبة لمياه المجاري فان المواد الصلبة تقسم إلى الأنماط المبينة في الجدول (8-1)

جدول 8-1 تقسيم المواد الصلبة

المواد الصلبة	مقاس الحبيبة × 10^{-6} متر
المترسبة	أكبر من 100
المفرطة الغروية	1 -100
الغروية الحقيقية	0,001- 1
الذائبة	أقل من 0,001

أما بالنسبة لطرق قياس المواد الصلبة فمعظمها يتم بواسطة اختبارات الوزن والتي تقارن كتلة المواد الصلبة المتبقية مع حجمها.

مثال 2

أوجد درجة تركيز المواد الصلبة الكلية والطيارة والثابتة لعينة ما مستخدماً المعطيات الآتية:

وزن البودقة الفارغة = 44,9342 غم

حجم العينة الموضوعة في البودقة والتي تم تبخيرها =100 مليلتر

وزن البودقة الثابت مع وزن المواد الصلبة المجففة في درجة حرارة 104°C = 44,9642 غم

وزن البودقة والمواد المجففة لدرجة حرارة 550°C = 44,9442 غم

الحل

لإيجاد كتلة المواد الصلبة الكلية:

كتلة البودقة + المواد الصلبة = 44,9642 غم

كتلة البودقة الفارغة = 44,9342 غم

تصبح كتلة المواد الصلبة مساويه إلى 0,03 غم = 30 ملغم

كتلة المواد الصلبة الكلية = كتلة المواد الصلبة \ حجم العينة

= 30× (100\1000) =300 ملغم \ لتر

لإيجاد كتلة المواد الصلبة الثابتة:

كتلة البودقة + المواد الصلبة الثابتة = 44,9442 غم

كتلة البودقة = 44,9342 غم

تصبح كتلة المواد الصلبة الثابتة مساويه إلى 0,01 غم = 10 ملغم \ لتر

درجة تركيز المواد الصلبة الثابتة = 10×(100/1000) = 100 ملغم \ لتر

تركيز المواد الصلبة الطيارة = تركيز المواد الصلبة الكلية – تركيز المواد الصلبة الثابتة

= 300 - 100 = 200 ملغم \ لتر

8-2-5 استعمال فحص المواد العالقة

تستعمل المواد العالقة كمعيار مهم لمياه الفضلات فهي تحدد نوعية مياه الفضلات الخارجة من محطة التصفية وتساعد في مراقبة عدة وحدات في محطات المعالجة، وتحدد وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) الحد الأقصى للمواد العالقة المسموح بطرحها في الماء بما مقداره (30 ملغم \ لتر).

8-3 العكارة أو الكدرة Turbidity

لا يجري قياس المواد العالقة للعينات المأخوذة من المياه المجهزة للشرب، إذ أنّ طبيعة هذه المواد وتأثيراتها الثانوية أكثر أهمية من مقدارها الكمي في الماء، لذلك يتم إجراء فحص العكارة أو الكدرة لمثل هذه الحالات. والعكارة هي مقياس للمدى الذي يمتص فيه الضوء أو ينتشر عند وجود المواد العالقة في الماء. ولما كانت خاصيتا الامتصاص والانتشار تتأثران بحجم وخصائص المواد العالقة لذلك تُعدّ العكارة مقياساً كمياً مباشراً للمواد العالقة.

تنشأ العكارة في المياه السطحية جراء تعرية المواد الغروية كالطين والغرين وقطع الصخور وأكاسيد المعادن إضافة إلى الأنسجة النباتية والأحياء المجهرية المختلفة، وتساهم مياه الفضلات المنزلية

التي تحتوي على مواد مولدة للعكارة كذلك الصوابين والمنظفات وغيرها في زيادة قيمتها في المياه السطحية. إن العكارة في المياه تكون بسبب المواد العالقة مثل الطين والأتربة والصخور المتكسرة والمواد الصغيرة، وللعكارة أهمية كبيرة في تحديد مدى صلاحية المياه للشرب وللاستعمالات المنزلية، إذ أن المياه الخالية من المواد العالقة تكون أكثر قبولاً للمستهلك، وفي حالة تعقيم المياه ذات العكارة المرتفعة بالكلور فإنها تستهلك كمية إضافية من الكلور في أثناء عملية التعقيم.

تُعبر العكارة بشكل عام عن قياس درجة الصفاء لعينة الماء لتقدير مدى خلوها من المواد العالقة التي تؤثر على مسار حزمة الضوء عبر الماء، ويعتمد قياس العكارة على طول مسار الضوء خلال عينة الماء ووحدة قياسها هي Nephelometric Turbidity Unit (NTU). وقد أجمعت معظم مواصفات مياه الشرب المحلية والعالمية على إنه في حالة وصول عكارة المياه إلى خمس وحدات NTU فإنه لا يسمح باستخدامها للشرب ويجب معالجتها للتخلص من العكارة.

8-3-1 تأثير العكارة

تؤثر العكارة على نوعية المياه بعدة وجوه من أهمها:

1. **تشوه الناحية الجمالية للماء.**
2. **تعتمد كمية المادة المعقمة المضافة للماء في عمليات التنقية على مقدار العكارة فيه، إذ أن الأخيرة تُعدَ دالة لوجود الأحياء المجهرية.**
3. **تعرقل العكارة نفاذ الضوء والهواء إلى الأعماق فتؤثر على الحياة المائية والفعاليات الضوئية.**
4. **تراكم العكارة (الجسيمات) في قاع النهر أو الجدول جراء الترسيب يؤثر على الحياة القعرية.**

8-3-2 قياس العكارة

تُقاس العكارة بواسطة جهاز قياس العكارة Turbidimeter الذي يعتمد على كمية الهواء الممتص. وسابقاً كان يُعبر عن العكارة بوحدات Jackson Turbidity Unites (JTU) التي تكافئ مقدار العكارة التي ينتجها (1ملغم) من أوكسيد السليكون (SiO_2) في لتر واحد من الماء المقطر. كما كانت العكارة تُقاس سابقاً بواسطة شريط العكارة (Turbidity Rod) أو بمقياس جاكسون للعكارة (Jackson Turbidimeter) أو بجهاز بايلز (Baylis Turbidimeter)، إما في الوقت الحاضر فيعتمد جهاز العكارة على تشتيت الضوء في عمله لذلك فإن وحدات العكارة في هذه الحالة هي (NTU) التي تكافئ الوحدة السابقة.

تتراوح عكارة المياه السطحية بين عدة وحدات إلى مئات بل آلاف الوحدات. وتوصي مؤسسة حماية البيئة الأمريكية بعدم تجاوز العكارة في مياه الشرب وحدة واحدة. في حين تشير مواصفات الوكالة الأمريكية لمياه الشرب (AWWA) بعدم تجاوز العكارة في مياه الشرب (2) وحدة. أما مواصفات مياه الشرب حسب منظمة الصحة العالمية والتي يطبقها العراق فتشير إلى عدم تجاوز هذه المواصفات (5) وحدات.

8-3-3 وصف العكارة أو الكدرة

إن كمية المواد العالقة في الماء، والكائنات الحية، والملوثات الأخرى تؤثر على العمق الذي يمكن أن يخترقه الضوء. ونطلق على تلك المادة المواد الصلبة العالقة. فكلما زاد تركيز المواد الصلبة العالقة فإن الضوء لا يستطيع أن يخترق المياه لكامل عمقه. والدرجة التي فيها يمنع الضوء من الاختراق بواسطة المواد الصلبة العالقة يطلق عليها العكارة.

من العكارة يمكن استنتاج مقدار المادة العالقة الموجودة في الماء. والأنواع المعروفة من المواد الصلبة العالقة تشتمل على أجزاء صغيرة من التربة، ومواد نباتية، ومخلفات صناعية، وكائنات حية مجهرية. وأية عملية طبيعية أو اصطناعية تلقي موادها العالقة في الماء تسبب العكارة.

8-3-4 التأثيرات الطبيعية المؤثرة على عكارة المجرى المائي

- أنواع المواد التي تشكل قناة المجرى المائي: إذا جرت قناة مجرى مائي خلال طبقة صخرية صلبة، فإن الانجراف سيكون أقـــل عنه إذا كانت القناة تتكون بشكل رئيسي من تربة مفككة.
- أشكال الطقس الموسمية سوف تغير العكارة، وكل من ذوبان الثلوج في الربيع والأمطار تعمل على زيادة الجريان، الذي عموماً يعمل على زيادة العكارة.
- المجاري المائية الأصغر والتي لها سرعات عالية تحمل الرسوبيات التي انجرفت من المناطق المحيطة، وكذلك من جوانب وقيعان المجاري المائية، والأنهر الكبيرة، التي عموماً تكون أعرض، وأبطأ وأكثر عرضة للشمس، ربما تحتوي على الكثير من النباتات الميكروسكوبية الصغيرة التي أيضاً تزيد من العكارة.
- جذور النباتات في كل من المناطق النهرية وعلى طول المستجمع المائي تساعد على المحافظة على التربة خارج المجرى المائي مما يؤدي إلى تقليل العكارة، والأحداث الطبيعية المفاجئة والمثيرة مثل حرائق الغابات والفيضانات وعواصف الرياح ربما تعمل على تدمير النباتات مما يؤدي إلى الانجراف.

5-3-8 التأثيرات الإنسانية المؤثرة على عكارة المجرى المائي

- استقرار جوانب المجرى المائي يساعد على تقليل الانجراف والعكارة. وبإمكاننا أن نحسّن استقرار الجوانب بواسطة المحافظة على نمو نباتي نهري كثيف وصحي أو وضع تعزيزات مثل أسلاك لف أو حجارة.
- في البرك وكذلك الأنهار الكبيرة ذات الحركة البطيئة فإن النشاطات التي تعمل على إدخال المغذيات (غذاء النبات) إلى المجرى المائي سوف تزيد من إنتاج الطحالب الميكروسكوبية وكذلك تزيد العكارة.
- أي نشاط يزيد من الانجراف في المجرى المائي سوف يزيد العكارة مثل بناء الطرق، والتطوير، والرعي الجائر في المناطق النهرية، وكذلك الصيد بشباك الجر أو زيادة أعماق القنوات.

6-3-8 مضار العكارة

إذا ما زادت عكارة المجرى المائي وتعدت المستويات الطبيعية، فإنها تفقد قابليتها على دعم الحياة المائية التي كانت قد تكيفت معها تلك المستويات ومن خلال النقاط الآتية:

- المواد الصلبة العالقة تمنع أشعة الشمس من الوصول إلى النباتات المائية التي تنمو على قاع المجرى المائي، ومن دون ضوء فإن عملية التمثيل الضوئي لا يمكن أن تحدث مما يقلل ربما من تركيز الأوكسجين المذاب في الماء الذي يُعد ضرورياً من أجل بقاء الأسماك وكذلك الأحياء المائية الأخرى.
- العكارة تجعل من الصعوبة بالنسبة للأسماك بأن ترى فريستها. والأحمال الثقيلة من المواد الصلبة العالقة يمكن أيضاً أن تعمل على انسداد خياشيم الأسماك وكذلك أجهزة التغذية المفلترة للافقاريات الكبيرة المائية.
- عندما تترسب المواد الصلبة فإنها ربما تغطي وتضر النباتات والحيوانات الموجودة في القاع وكذلك أرضيات تفريخ الأسماك، والأسماك مثل السلمون المرقط (التراوت) الذي يضع بيوضه في أعشاش تفريخ تعتبر بشكل خاص معرضة للرسوبيات في المجرى المائي.
- جميع المجاري المائية لها مستوى طبيعي من العكارة، بينما بعض أشكال الحياة المائية تحتاج إلى مياه صافية من أجل البقاء، وأنواع مائية أخرى تكيفت وتنمو بقوة في العكارة العالية.

4-8 اللون Color

تكون المياه النقية عادة عديمة اللون لكنها تتلون جراء وجود مواد غريبة فيها. ويطلق مصطلح اللون الظاهري Apparent Color عندما تكون المواد العالقة هي سبب اللون في حين يطلق اصطلاح اللون الحقيقي True Color إذا كان سبب اللون وجود المواد المذابة. يتولد اللون في الماء بعد تماس الماء مع الأعشاب والأوراق والخشب وغيرها. فمثلاً وجود أكاسيد الحديد يعطي الماء اللون الأحمر وتعطي أكاسيد المنغنيز اللون القهوائي وهكذا، وبصورة عامة فإن الألوان تتكون في المياه من المصادر الآتية:

1- **مصادر طبيعية مثل مستخلصات حطام المواد العضوية مثل أوراق الأشجار والخشب وفحم المستنقعاتPeat.**
2- **مصادر صناعية مثل فضلات المناجم وصناعة النسيج والورق والأصباغ.**
3- **الحمأة المنزلية.**

إن اللون في المياه الطبيعية ينتج من العديد من الجزئيات العضوية الكبيرة، والماء المطلق لا لون له. واللون في الماء يأتي من وجود أيونات معادن طبيعية مثل أوكسيد الحديد(اللون الأحمر) وأوكسيد المنغنيز (اللون البني أو الأسود) وفحم المستنقعات والأعشاب والفضلات الصناعية مثل صناعة النسيج وأعمال الدباغة وإنتاج الورق والكيمياويات وصناعة الأغذية وأعمال المناجم والتكرير.

ينقسم اللون إلى ما يأتي:

1- **اللون الظاهري**: نسبة إلى وجود مواد في المحلول بالإضافة إلى مواد عالقة.
2- **اللون الحقيقي**: نسبة إلى وجود الخضراوات ومستخلصات المواد العضوية الغروية. عادة ما ينتج اللون الحقيقي بفضل مواد موجودة في المحلول.

1-4-8 تأثير اللون

تتأثر نوعية المياه جراء اللون من عدة وجوه:

1 - الناحية الجمالية، فكلما كان الماء ملوناً كلما رفضه الذوق العام.

2 - في حالة كون الماء ملوناً فان ذلك يؤثر على كثير من الاستخدامات مثل الكوي والصبغ وصناعة الورق وغيرها من الصناعات.

3 - يؤثر الماء الملون على الاستخدامات البشرية والمنزلية.

2-4-8 قياس اللون

يمكن قياس اللون بواسطة إحدى الطرائق الآتية:

1- طريقة المقارنة النظرية للعينة مع محاليل ذات درجات لون معروفة بواسطة أنابيب نيسلر Nesseler Tubes أو بالمقارنة مع أقراص زجاجية مدرجة ومخصصة لقياس اللون.

2- طريقة المطياف الضوئي Spectrophotometer.

3- الجهاز الحقلي Field kit.

إن الشائع من الطرائق أعلاه هي طريقة المقارنة حيث تؤخذ عدة أنابيب تحوي ألواناً قياسية وتقارن مع عينات الماء المأخوذة ويعبر عن اللون بوحدات اللون الحقيقي حيث تكون كل وحدة مكافئة إلى اللون الذي يسببه (1) ملغم \ لتر من مادة البلاتينيوم.

5-8 الطعم والرائحة Taste and Odor

يغلب في العادة استخدام هذين المصطلحين أحدهما مكان الآخر نظراً لأن المواد التي تصدر رائحة يصحبها في الغالب إعطاء طعم ولكن هنا يجب التفريق بين هذين المصطلحين أو ليس شرطاً أن تنتج المواد ذوات الطعم رائحة.

ينشأ الطعم والرائحة في الماء عند تماس الماء مع العديد من المواد التي قد تكون موجودة بحالة طبيعية في الماء أو تتولد جراء الأنشطة البشرية المختلفة. ومن هذه المواد المعادن والأملاح ونواتج التفاعلات البيولوجية ومكونات مياه الفضلات وغيرها. فضلاً عن ذلك فإن التفسخ والتحلل البيولوجي للمواد العضوية يصحبها تكوين طعم ورائحة في الماء، كما قد يتولد الطعم والرائحة جراء تفاعل بين مادتين لا تكونان في حالتهما المفـــردة ذات طعـــم ورائحة.

يؤثر الطعم والرائحة على الناحية الجمالية للماء وعلى الذوق العام. فالإنسان يرفض الماء ذو الطعم والرائحة. كما تنعدم أو تنخفض الحياة المائية في مثل هذه الظروف، كذلك فإن الطعم والرائحة يؤثران على الصحة العامة وقد تفرز بعض المواد ذوات الطعم والرائحة عناصر سامة أو سرطانية مضرة بالصحة. إذ أن من المفترض أن لا تحتوي مياه الشرب على طعم ولا رائحة للاستساغة بواسطة المستهلك، إن الطعم والرائحة من الخواص التي يصعب قياسها، ووجود الطعم ربما يكون بسبب الشوائب المذابة التي غالباً ما تكون من أصل عضوي مثل الفينول والفينول المكلور والدهون والمواد الكربونية غير المشبعة، كما إن هناك مواد غير عضوية مؤثرة مثل الحديد، والمنغنيز، والكلوريدات، والغازات الناتجة من تحلل المواد العضوية مثل كبريتيد الهيدروجين.

دائماً يكون المصدر الجيد للماء خالٍ من الرائحة، ووجود الرائحة في الماء ربما يكون بأحد الأسباب الآتية:

1- تحلل مركبات النتروجين والفسفور والكبريت العضوية وغير العضوية.

2- تحلل الطحالب والكائنات الحية الدقيقة.

3- إنتاج مواد مثل الأمونيا والكبريتات والسيانيد وكبريتات الهيدروجين والكلور.

وتوجد العديد من الطرائق المستخدمة لإزالة الروائح الكريهة والطعم غير المقبول منها:

1- الامتزاج بالكربون المنشط.

2- التهوية.

3- الترويب والترشيح.

4- الأوزنة (استخدام الأوزون) أو الكلورة.

5- الأكسدة بمركبات الكلور مثل (الكلورامين وأكاسيد الكلور)

8-5-1 قياس الطعم والرائحة

يمكن إجراء تحاليل وقياس الطعم والرائحة للمواد العضوية باستخدام جهاز الطيف الغازي. وحيث إن هذا الفحص يتطلب وجود أجهزة حديثة ومكلفة إضافة إلى كونه يستغرق وقتاً طويلاً لذلك يتم اللجوء إلى إجراء هذه الفحوصات بطريقة رقم العتبة (Threshold Number).

إن مواصفات منظمة الصحة العامة الأمريكية تبين بأن قيمة (3) يمكن اعتبارها مقياساً لتلوث الماء بالطعم والرائحة وتسمى وحدة القياس بـ TON.

إن من أهم الآثار الناجمة من الروائح الكريهة هي الإجهاد النفسي، والصداع، والإغماء والاستفراغ، والإحباط الذهني، والتعب، وفقدان الشهية، وصعوبة التنفس، وتهيج العيون، والأرق، وقلة الإنتاج، وانخفاض كفاءة العمل. كما وإن انتشار الروائح الكريهة لمسافات أبعد من محطات معالجة الفضلات ربما ينتج عنه نقصان في عائدات السوق والضرائب والبيع في المنطقة المتأثرة.

ويبين الجدول (8-2) أهم أنواع الروائح الكريهة.

جدول 8-2 أهم أنواع الروائح الكريهة

نوع الرائحة	المواد المسؤولة عن الرائحة
أمونيا لحم متفسخ	غاز الأمونيا والأمينات الثنائية والطحالب والبروتوزوا
برازية	مواد الاسكاتول C8H5NH CH3
سمكية	الأمينات، الطحالب، البروتوزوا
عشبية	الطحالب
بيض فاسد	كبريتيد الهيدروجين
ملفوف (كرنب) فاسد	الكبريتيدات العضوية
ضربان (حيوان)	مركبتان Mercaptans

8-6 درجة الحرارة Temperature

تُعد درجة الحرارة واحدة من أهم خصائص المياه السطحية فهي تحدد إلى مدى كبير الأنواع البيولوجية ومعدلات نموها كما إنها تؤثر على التفاعلات الكيميائية الجارية في هذه المنظومات فضلاً عن تأثيرها الواضح على ذوبان الغازات في المياه.

تتأثر المياه السطحية بدرجة الحرارة من عدة مصادر منها درجة حرارة الجو المحيط ، كما تلعب المطروحات الناتجة من الأنشطة الصناعية دوراً مهماً في رفع درجة حرارة الجسم المائي فتؤثر بذلك كثيراً على خصائصه ومحتواه من الأحياء المختلفة. يضاف إلى هذه المصادر ما ينجم عن إزالة الغابات وعن مياه الري الراجعة والتي تعمل على زيادة درجة حرارة الجسم المائي المستلم، تلعب درجة الحرارة دوراً مهماً في الحياة البيولوجية، إذ يقل معدل النشاط البيولوجي تبعاً لانخفاض درجة الحرارة وتزداد بازديادها، وقد وجد إن زيادة درجة الحرارة بمقدار (10 درجات سيليزية) يضاعف الفعالية البيولوجية خصوصاً عند توفر الظروف المناسبة، وبارتفاع درجة الحرارة تزدهر وتنمو بعض أنواع الأحياء المجهرية في حين تضمحل وتتلاشى أنواع أخرى.

8-6-1 أهم مؤثرات ازدياد درجة الحرارة في المياه

1- **زيادة التفاعلات الكيميائية ومعدلاتها، إذ إن زيادة درجة الحرارة تضاعف من معدلات تفاعلات الكائنات الحية الدقيقة لكل 10 درجات سيليزية.**
2- **نقصان درجة تركيز الأوكسجين الذائب.**
3- **نقصان درجة ذوبانية الغازات.**
4- **زيادة حاجة الأوكسجين الكيمياحيوية.**

5- زيادة معدلات التآكل.

6- زيادة حساسية الكائنات المائية للمواد السُمية الذائبة في البيئة المائية. فمثلاً الزيادة في فضلات ساخنة، كما وإن درجة الحرارة العالية يمكن أن تساعد في نمو النباتات المائية غير المرغوبة وطفيليات مياه المجاري.

2-6-8 أهم العوامل التي تؤثر على درجة الحرارة

- التغير في دوائر العرض.
- الغطاء المائي والنباتي والتربة.
- الارتفاع عن سطح البحر حيث تقل درجة الحرارة مع الارتفاع.
- تأثير المدن: إن كمية الحرارة السنوية الناتجة في المدن الكبيرة تعادل بالتقريب ثلث الإشعاع الشمسي الواصل إلى منطقة مماثلة.

أسئلة الفصل الثامن

س1) أذكر أنواع المواد الصلبة في المياه.

س2) كيف تؤثر المواد الذائبة الكلية على نوعية المياه.

س3) ما المقصود بمجموع المواد الذائبة الكلية؟ كيف يتم قياسها؟

س4) ماهي مصادر الكبريتات في المياه؟

س5) كيف تؤثر المواد العالقة على المياه.

س6) ما المقصود بالكدرة أو العكارة، وما هو تأثيرها على نوعية المياه.

س7) اذكر التأثيرات التي تغير كدرة المجرى المائي.

س8) ماهي مسببات تلون المياه، وكيف يتم قياس اللون فيها؟

س9) أذكر أهم مؤثرات ازدياد درجة الحرارة في المياه.

س10) جرى ترشيح عينة من الماء حجمها (100)لتر، وتم وزن ورقة الترشيح بعد ترشيح المياه وكان (32,392) غم وبعد تجفيفها في الفرن (32,363) غم، احسب تركيز المواد العالقة في العينة.

الفصل التاسع

الخصائص الكيميائية للمياه

Chemical Characteristics of Water

الفصل 9

محتويات

تعلم المواضيع

- القاعدية.
- الكبريتات.
- الكلوريدات.
- العسرة.
- الأيون الهيدروجيني.
- الفلوريدات.
- الحديد.
- التوصيل الكهربائي.
- أنواع المخثرات.
- مساعدات التخثير.

الخصائص الكيميائية للمياه

الخصائص الكيميائية للمياه

Chemical Properties of Water

1-9 القاعدية Alkalinity

هي عبارة عن كمية الأيونات الموجودة في الماء التي تتفاعل لمعادلة أيونات الهيدروجين، أي أن القاعدية هي مقياس لقدرة الماء على معادلة الحوامض. تنشأ القاعدية جراء ذوبان العديد من المواد في التربة أو الجو. كما إن بعض الأيونات مثل الفوسفات تنتج جراء استخدام المنظفات والأسمدة والمبيدات.

تُعد أيونات الكربونات والبيكربونات والهيدروكسيد من أهم مكونات القاعدية في الماء، فضلاً عن أصلها المعدني فإن هذه المواد تتولد أيضاً من ثنائي أوكسيد الكربون، كما في المعادلات أدناه:

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

$$CO_3^- + H_2O \longrightarrow HCO_3 + OH^-$$

1-1-9 تأثير القاعدية

عند تواجد القاعدية بكميات كبيرة فإنها تصبح مصدر الطعم المر في الماء، كما إن القاعدية في الماء تتفاعل مع بعض الأيونات الأخرى مكونة بذلك راسباً قد يتلف الأنابيب والملحقات الأخرى.

2-1-9 قياس القاعدية

تُعين القاعدية عن طريق التسحيح مع أحد الحوامض ومن ثم تحديد مكافئ الهيدروجين. يعبر عن القاعدية بوحدات ملغم \ لتر من كربونات الكالسيوم CaCo3. فعلى سبيل المثال إذا استخدم حامض الكبريتيك ذو عيارية(0.02) في عملية التسحيح فإن (1 مليلتر) من الحامض سيعادل (1ملغم) من القاعدة بشكل كربونات الكالسيوم.

مثال 1

احسب القاعدة الكلية لعينة ماء حجمها 200 مليلتر وتركيز أيون الهيدروجين فيها (10)، جرى تسحيحها باستخدام (30) مليلتر من حامض الكبريتيك عيارية (0.02) إلى أن أصبح تركيز أيون الهيدروجين (4.5).

الحل

لما كان كل 1 مليلتر من الحامض المذكور يكافئ 30 ملغم من القاعدة في عينة الماء.

إذاً هنالك 30 ملغم من القاعدة في عينة الماء. وبناءً عليه فإن تركيز القاعدة يصبح:

(1000× 30) \200 = 150 ملغرام \ لتر

2-9 الكبريتات Sulfate

يُعد أيون الكبريتات واحداً من الأيونات السالبة المهمة في المياه الطبيعية. ويستمد أهميته في إمدادات مياه الشرب كونه يسبب الإسهال عند وجوده بتراكيز عالية، لذلك توصي المنظمات المعنية بالمياه على ضرورة عدم تجاوز تركيز هذا الأيون أكثر من 250 ملغم \ لتر. كما تأتي أهمية هذا الأيون كونه أحد العوامل التي تؤدي إلى تكوين القشرة في المراجل والمبادلات الأيونية لأنه أحد أملاح العسرة.

كذلك فإن الكبريتات مسؤولة – بشكل غير مباشر - عن حصول مشكلتين تتعلقان بالتعامل مع مياه الفضلات. هاتان المشكلتان هما الرائحة وتآكل المجاري جراء اختزال الكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجين عند الظروف اللاهوائية.

إن من أكثر الأشكال التي يتواجد بها الكبريت في المياه الطبيعية بشكل أيون الكبريتات متحداً مع الأيونات الموجبة الموجودة في تلك المياه. وتنتشر الكبريتات بشكل واضح في معظم المياه الطبيعية ويتراوح تركيزها بين بضع ملي غرام في اللتر إلى ألف ملي غرام في اللتر.

عادة ما تكون الكبريتات ذات إذابة محدودة في المياه السطحية لذلك تتواجد بتراكيز قليلة في هذه المياه. على النقيض من هذا تتواجد الكبريتات بتراكيز عالية في المياه الجوفية.

1-2-9 مصادر الكبريتات في المياه

من الأمور المهمة الخاصة بالكبريتات هو إنها تُعد عاملاً مهماً في تحيد صلاحية المياه لأغراض الري والزراعة كما إن الكبريتات تؤثر بشكل مباشر على جودة الأعمال الخرسانية. تنتج الكبريتات من:

1. فعل الإذابة للمياه لمركبات الكبريت المنتشرة في القشرة الأرضية.
2. إذابة أكاسيد الكبريت المنطلقة جراء الحرق بواسطة مياه الأمطار.
3. طرح الفضلات السائلة الحاوية على هذا الأيون وبخاصة مطروحات معامل الأسمدة والورق وتكرير النفط.

3-9 الكلوريدات Chlorides

ينشأ الكلوريد في مياه الشرب عن المصادر الطبيعية أو المجاري أو السيح الحاوي على المحاليل الملحية. ويستمد الكلوريد أسمه من اسم عنصر الكلور إذ أن الكلور Cl_2 لا يوجد في الطبيعة كعنصر بل يوجد كغاز، إلا أن الكلوريد هو عبارة عن أيون الكلور في صورته السالبة Cl^-، أي إنه أيون سالب إذ يكون بإمكانه الاتحاد مع الأيونات الموجبة (الفلزات) مكوناً أملاحه التي توجد في صورة أملاح معدنية Metallic Slate، ويعتبر الكلوريد من أكبر المكونات اللاعضوية الموجودة في المياه الصالحة للشرب Potable Water ومياه الصرف أو المجاري Sewage Water. كما يتوزع على نطاق واسع في الطبيعة على شكل أملاح الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم، إذ يشكل 0.05% من اليابسة إلا أن النسبة الكبرى منه تكون في المحيطات.

1-3-9 أسباب وجود الكلوريدات في الطبيعة

1. انحلال رواسب الملح.
2. التلوث الناتج عن تمليح الطرقات لمكافحة الثلج والجليد.
3. نفايات الصناعات الكيميائية.
4. عمليات آبار النفط.
5. المطروحات إلى المجاري.
6. التلوث من مرشحات النفايات.
7. تسرب مياه البحر في المناطق الساحلية.

ويمكن القول أن السبب في كل هذا الانتشار أن أيون الكلوريد شديد الحركة. وبما أن الكلور يوجد في جميع إمدادات المياه الصالحة وغير الصالحة للشرب، فعندما تحتوي مياه الشرب على الصوديوم فان زيادة الكلوريدات عن 250 ملغم \ لتر يعطي المياه الطعم المالح Salty Taste، إذاً ملوحة الطعم التي تظهر في المياه تعتمد في المقام الأول على تركيز أيونات الكلوريد في المياه بالإضافة إلى المكونات الكيميائية الأخرى، بما أن نسبة العناصر الرئيسة لبعضها البعض في مياه البحار تقريباً ثابتة، لذا عادة ما يتم تحديد ملوحة مياه البحر بواسطة تقدير نسبة الكلوريد في المياه (إذ تحتوي منه مياه البحر حوالي 20000 ملغم \ لتر، وبعد معرفة تركيز الكلوريد بالمليغرام \ لتر تقدر الملوحة بواسطة المعادلة الآتية:

$$\text{Salinity (s)} = 1.80655 \quad \text{mg } Cl^-/l$$

أما عندما تسود أيونات الكالسيوم Ca^{+2} أو المغنيسيوم Mg^{+2} في المياه، فان الطعم المالح للملوحة يظهر عند تركيز أعلى من 1000 ملغم/ لتر. وحيث أن النظام الغذائي للإنسان تكوّن فيه الكلوريدات مكون أساسي من مكوناته ، فتمر عبر الجهاز الهضمي دون أن يحدث لها أي تغيرات وبهذه الطريقة يصبح واحدا من أهم مكونات مياه الصرف. وهذا هو السبب الرئيس في أن مياه الصرف الصحي ومياه المعالجات الصناعية (الصرف الصناعي) أعلى تركيزاً للكلوريدات من المياه الخام. كما أن الاستعمال الواسع لكرات الزيوليت Zeolite المستخدمة في عملية التبادل الأيوني تساهم بقدر كبير في زيادة كمية الكلوريدات في مياه الصرف الصحي.

لا يعرف للتراكيز العالية للكلوريدات في المياه أي أثر سام بالنسبة للإنسان أو الحيوان، إلا إنها تتفاعل مع معدن الأنابيب محدثة فيها تآكلا مما تؤدي إلى أضرار بالغة بالنسبة للقطاع الصناعي، وتشير أغلب المواصفات القياسية إلى أن الحد المسموح به من الكلوريدات في مياه الشرب هو 250 ملغم \ لتر وذلك لتجنب ظهور الطعم المالح في المياه بالإضافة إلى الوقاية من أي خطر وخاصة المخاطر الفيزيائية.

4-9 العسرة Hardness

هي عبارة عن تراكيز الأيونات المعدنية الموجبة المتعددة التكافؤ في المحلول التي تتفاعل مع الأيونات السالبة مكونة راسباً صلباً. تكون العسرة على نوعين كربونية وغير كربونية. فالعسرة الكربونية سببها وجود كربونات وبيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم في حين تكون العسرة غير الكربونية بسبب وجود أملاح الكبريتات والكلوريدات والنتريت لهذه العناصر. ويطلق على مجموع هذين النوعين من العسرة بالعسرة الكلية.

يمكن إزالة العسرة الكربونية بسهولة بواسطة الغليان وكما في المعادلات الآتية:

$$Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2 + 2CO_2$$

1-4-9 مصادر العسرة

تُعد أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم الموجبة من أكثر الأيونات توفراً في المياه الطبيعية، وهناك أيونات أخرى مثل الحديد والمنغنيز والألمنيوم وغيرها، هذه الأيونات بمجموعها تسبب العسرة في المياه. ومن الناحية العملية يمكن القول إن سبب العسرة هو وجود أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم.

9-4-2 الآثار السلبية للمياه العسرة

الماء العسر ليس ضاراً بالصحة ولكنه مزعج في استخدامه ومن تأثيراته:

1. يؤثر على كمية الكالسيوم والمغنسيوم في الطعام.
2. تكون بقع على الأطباق والأكواب بعد جفافها وذلك لترسيب ما به من أملاح على مختلف الأدوات.
3. يؤثر على الشعر وعلى طبيعته وحيويته.
4. ترسيب الأملاح الموجودة في الماء العسر داخل أنابيب المياه يؤدي إلى عدم انسياب المياه بالكمية المطلوبة وبالتالي يصعب استخدامها في الحياة العادية والعملية.
5. الاستحمام بالمياه العسرة تؤدي إلى وجود طبقة من الصابون اللزج على الجلد مما يساعد على ترسيب الأوساخ والغبار والبكتيريا الضارة على الجلد ومن الصعب إزالتها، وتؤدي هذه الطبقة إلى فقدان حيوية الجلد ولمعانه وتؤدي إلى تهيج الجلد والتهابه.
6. استخدام المياه العسرة في الغسيل تُعد مزعجة جداً وذلك لأنه لا يساعد في تكوين رغوة مع الصابون أو المنظفات مما يؤدي إلى زيادة استعمالها في عملية التنظيف، واستخدام الماء العسر في الغسيل يؤدي إلى عدم نظافة الغسيل وخاصة الأبيض منه وتحوله إلى اللون الرمادي مع فقدان بياضه ونظافته، لعدم إزالة الأوساخ جيداً كما يؤدي إلى إتلاف الملابس وعدم تحملها عمليات الغسيل فيما بعد، وبالتالي فهي غير صالحة في عمليات الغسيل أو النظافة العامة أو الاستحمام كما إنها تؤثر على نوعية وسلامة الملابس.

إما على صعيد الاستعمال الصناعي للمياه فإن الأضرار الناتجة عن استعمال الماء العسر في المراجل والأنابيب فإن استعمال الماء العسر بنوعيه: المؤقت والدائم في المراجل يؤدي إلى ترسيب أملاح الكالسيوم والمغنسيوم بالحرارة وزيادة تركيزها، ويؤدي وجود تلك الطبقات المترسبة إلى أضرار كثيرة منها:

1. تقليل التوصيل الحراري في مختلف الأوعية الحرارية.
2. صعوبة وعدم وصول الحرارة إلى السائل المسخن، وبالتالي فقدان وزيادة استهلاك الوقود.
3. يؤدي وجود تلك الطبقات المترسبة إلى تكون طبقة عازلة مما يؤدي إلى عدم تبريد الأجزاء الملامسة للهب تبريداً نسبياً، وبالتالي إلى ارتفاع درجة حرارة تلك الأجزاء بشكل خطير قد يؤدي إلى انفجار المراجل.
4. قد يؤدي الترسيب المتزايد إلى انسداد أنابيب المراجل وانفجارها.

9-4-3 قياس العسرة

تُقاس العسرة بواسطة تقنيات الطيف أو بواسطة التسحيح الكيميائي لمعرفة مقادير أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم في العينة. كما يمكن قياسها مباشرة بواسطة التسحيح بمادة EDTA التي تعمل ككاشف حيث يتغير لون المحلول، ويمثل كل مليلتر من الكاشف ما يكافئ (1 ملغم) من العسرة بدلالة كربونات الكالسيوم.

تجرى تحاليل العسرة على المياه الطبيعية ومياه الشرب على وجه الخصوص، كما تُقاس في حالات استخدام المياه للأغراض الصناعية. تتراوح العسرة بين صفر إلى بضع مئات بل قد تصل إلى بضعة آلاف جزء بالمليون، وقد وضعت العديد من المعايير التي تصف العسرة لعل أكثرها شيوعا ما موضح في الجدول (9-1). عادة ما يعبر عن العسرة بوحدات ملغم \ لتر بدلالة كربونات الكالسيوم، لذلك يجب تحويل تراكيز الأيونات والمركبات المنفردة الموجودة في الماء العسر على هذا الأساس وكما يأتي:

تركيز العنصر\المركب (ملغم \ لتر) من كربونات الكالسيوم = تركيز ذلك العنصر \ المركب × الوزن المكافئ لكربونات الكالسيوم \ الوزن المكافئ للأيون أو المركب.

جدول9-1 تصنيف المياه بالنسبة للعسرة

وصف العسرة	مقدار العسرة (ملغم\لتر) بدلالة كربونات الكالسيوم
ماء يسر	أقل من 50
ماء معتدل العسرة	بين 50-150
ماء عسر	من 150-300
ماء عسر جدا	أكثر من 300

تنص معايير الصحة العامة الأمريكية على إن مقدار العسرة الأقصى في مياه الشرب يجب أن لا يتجاوز 500 ملغم \ لتر. ويتم اعتماد هذه القيمة في العراق.

مثال 2

عينة ماء لها التحليل الآتي (التراكيز بوحدة ملغم/ لتر):

الكالسيوم Ca = 40، المغنيسيوم Mg = 24، الصوديوم Na = 9.2، البيكربونات HCO_3 =183 الكبريتات SO_4=57.5، الكلوريدات Cl= 7، احسب تراكيز هذه الأيونات والمركبات بدلالة كربونات الكالسيوم.

الحل

الوزن المكافئ للعناصر والمركبات = الوزن الجزيئي \عدد التكافؤ

وعند تطبيق هذه المعادلة تكون النتائج كما يأتي:

$$Ca = \frac{40.08}{2} = 20.04$$

$$Mg = \frac{24.32}{2} = 12.16$$

$$HCO_3 = \frac{61}{1} = 61$$

$$Na = \frac{23}{1} = 23$$

$$SO_4 = \frac{96}{2} = 48$$

$$Cl = \frac{71}{2} = 35.5$$

تركيز(العنصر\المركب) من كربونات الكالسيوم (ملغم \ لتر) = [تركيز ذلك العنصر \ المركب] × الوزن المكافئ لكربونات الكالسيوم / الوزن المكافئ للأيون أو المركب

الكالسيوم (ملغم\لتر كربونات الكالسيوم) $\frac{50 \times 40}{20.04} = 99.8$

المغنيسيوم (ملغم \لتر كربونات الكالسيوم) $\frac{50 \times 24}{12.16} = 98.6$

الصوديوم (ملغم \لتر كربونات الكالسيوم) $\frac{50 \times 9.2}{23} = 20$

البيكربونات (ملغم \لتر كربونات الكالسيوم) $\frac{50 \times 183}{61} = 150$

الكبريتات (ملغم \لتر كربونات الكالسيوم) $\frac{50 \times 57}{48} = 59$

الكلوريدات (ملغم \لتر كربونات الكالسيوم) $\frac{50 \times 7}{35.5} = 9.85$

9-4-4 طرائق إزالة العسرة

يمكن إزالة عسرة الماء بعدة طرائق، تبعاً لنوع الأملاح المسببة للعسرة. ففي حالة العسرة المسببة بأملاح بيكربونات الكالسيوم، فيمكن الاكتفاء بغلي الماء للتخلص من هذه العسرة، حيث تتحول البيكربونات إلى كربونات تترسب داخل إناء التسخين أو الغلي. أما النوع الثاني فهو ناتج عن كبريتات وكلوريدات المغنسيوم أو الكالسيوم، ولا يمكن التخلص منه بالحرارة، وكما إن الماء العسر غير مناسب للاستعمال العام، فإن الماء شديد اليسر غير مناسب أيضاً للاستعمال العام، لأن طعمه غير مناسب، لخلوه من ثاني أكسيد الكربون. وكذلك يذيب الماء اليسر الرصاص في الأنابيب المصنوعة من هذا المعدن، لأنه يؤدي إلى تكوين هيدروكسيد الرصاص، وهي مادة قابلة للذوبان في الماء، مما يؤدي إلى التسمم بالرصاص، نتيجة الاستعمال المستمر لهذا الماء المحتوي على الرصاص.

توجد ثلاث طرائق رئيسة لإزالة عسرة المياه هي:

أولاً: إضافة الجير(هيدروكسيد الكالسيوم) والصودا (كربونات الصوديوم) إلى المياه المطلوب معالجتها، إذ تعمل هذه المواد على تغيير طبيعة مركبات العسرة وجعلها غير قابلة للذوبان في الماء ومن ثم ترسيبها. ويبين الجدول (9-2) العمليات التي تجري لإزالة العسرة بهذه الطريقة.

ميزات طريقة استخدام الجير- صودا

1. تُعد هذه الطريقة مناسبة جداً للمياه ذات المحتوى العالي من العكارة أو المياه الحامضية حيث لا يمكن استخدام طريقة التبادل الأيوني عند هذه الظروف.
2. يكون محتوى المياه المعالجة (اليسرة) من المواد الصلبة الكلية أقل نسبياً مما ينتج في طريقة التبادل الأيوني.
3. يكون تأثير البكتريا فعالاً في هذه الطريقة.
4. يمكن التعامل مع مياه عسرة جداً وخاصة عسرة المغنيسيوم.
5. لا يوجد فقدان أو تدهور في نوعية المواد المستخدمة في المعالجة.
6. سهولة التحكم بالصدأ المحتمل حصوله.
7. تُعد طريقة سهلة وخالية من التعقيدات ويمكن تشغيلها ونصبها في محطات تصفية المياه بسهولة.

جدول 9-2 عمليات إزالة العسرة باستخدام الجير ورماد الصودا

1. لغرض إزالة ثنائي أوكسيد الكربون في الماء يتم إضافة الجير وكما في المعادلة (هذا التفاعل لا يدخل ضمن تفاعلات إزالة العسرة/تيسير المياه) .

$H_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O$

2. لغرض إزالة عسرة الكالسيوم الكربونية (المؤقتة) يضاف الجير كما في المعادلة

$Ca(HCO_3) + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + H_2O$

3. لغرض إزالة عسرة الكالسيوم الدائمة يتم إضافة رماد الصودا كما موضح في المعادلة

$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$

$CaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2NaCl$

4. لغرض إزالة عسرة المغنسيوم الكربونية(المؤقتة) يضاف الجير وحسب المراحل

$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow MgCO_3 + CaCO_3 + 2H_2O$

حيث تترسب كربونات الكالسيوم بخلاف كربونات المغنيسيوم التي لا تترسب، لذلك يتم إضافة المزيد من الجير كما في المعادلة:

$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3$

حيث تترسب كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنيسيوم

5. لغرض إزالة عسرة المغنيسيوم الدائمة يضاف الجير ورماد الصودا كما في المعادلة

$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + CaCl_2$

$MgSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCO_3 + CaSO_4$

إن إضافة رماد الصودا يعمل على تحويل كلوريد الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم إلى كربونات الكالسيوم كما في الخطوة (3) أعلاه.

ثانياً: الطريقة الثانية إمرار المياه المطلوب معالجتها على فرش (Bed) للتبادل الأيوني حيث تجعل مركبات العسرة لا تتفاعل مع الصابون ويصبح الماء عندها يسراً. وهذه الطريقة سيتم التطرق لها بشيء من التفصيل في الفصل التالي.

ثالثاً: استخدام طرق متقدمة لتحلية المياه كالأغشية والتناضح العكسي والتقطير ..الخ.

5-9 تركيز الأيون الهيدروجيني (الرقم الهيدروجيني)

أيون الهيدروجين عبارة عن مقياس لمستوى الحامضية أو القاعدية في الماء. وتتراوح قيمته بين صفر إلى 14. وكما هو معلوم فإن جزيئة الماء الصافي تتفكك إلى أيون الهيدروجين وأيون الهيدروكسيد كما في المعادلة الآتية:

$$H_2O \longrightarrow H^+ + OH^-$$

ومع بقاء الماء نقياً فإن عدد أيونات الهيدروكسيد تساوي عدد أيونات الهيدروجين. ولكن عندما يضاف حامض ما إلى الماء فإن عدد أيونات الهيدروجين تزداد بسبب احتواء الحامض على أيونات الهيدروجين وعلى النقيض من ذلك فإنه يزداد عدد أيونات الهيدروكسيد عند إضافة قاعدة ما إلى الماء، وبغض النظر عن حامضية أو قاعدية المحلول فلا بد من وجود أيونات الهدروجين والهيدروكسيد إذ أن حاصل ضرب الأيونين يبقى ثابتاً لذلك فإن أي تغيير في أحدهما يسبب تغييراً عكسياً في الآخر.

تُعد قيمة الرقم الهيدروجيني pH ذات أهمية كبيرة في كيمياء المياه حيث يعتمد عليها أي إجراء لمعاملة مياه الشرب أو مياه الصرف مثل إزالة عسرة الماء – الترسيب– التعقيم وإلى غير ذلك من المعاملات. إن الرقم الهيدروجيني يمثل نشاط أيونات الهيدروجين في المحاليل ويعتبر معياراً للتعرف على مستوى حامضية أو قاعدية المحاليل، وتتراوح قيمته من (0 – 14)، كما مبين في الشكل (9-1).

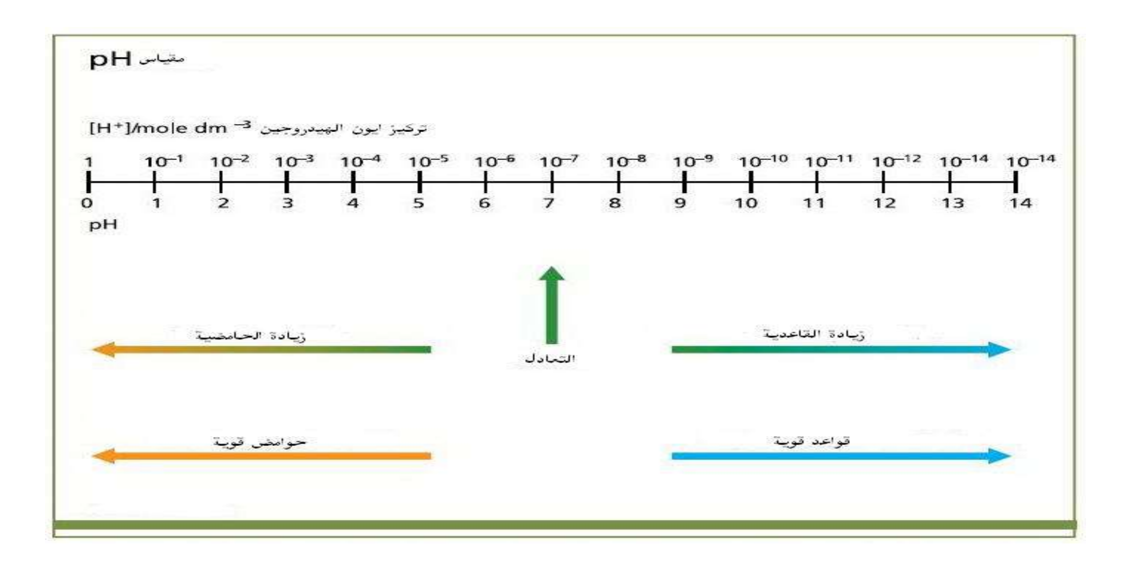
ويمكن إيجاد الرقم الهيدروجيني باستخدام المعادلة الآتية:

$$\mathbf{PH = - Log\ [\ H^+]}$$

وتنتج القلوية في المياه بسبب مركبات المواد الكيميائية الذائبة من الصخور والتربة، ومن أهم الأيونات المسببة للقلوية أيونات الهيدروكسيد والكربونات والبيكربونات، وعادة تتكون هذه المركبات من كربونات وبيكربونات الصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم والكالسيوم.

إن الكثير من المواد تذوب في الماء وعند ذوبانها، فإنها تعطي جزيئات مشحونة يطلق عليها الأيونات. والمياه الحامضية تحتوي على أيونات هيدروجين زائدة (H^+) ولها قيمة درجة حموضة ما بين (صفر و 7)، إذ إن مع الصفر تكون الأكثر حامضية.

إما المياه القاعدية، أو القلوية فهي التي تحتوي على أيونات الهيدروكسيد (OH^-) ولها قيم درجة حامضية ما بين (7 و 14)، وعند قيمة (14) تكون الأكثر قاعدية. وقد تتوقع أن تكون مياه الأمطار متعادلة. ولكن في الواقع، إنها إلى حد ما حامضية بدرجه تتراوح من 5 إلى 6. وهذا نتيجة لتكوين حامض الكربونيك الناتج من تفاعل المطر مع ثاني أكسيد الكربون.



شكل 9-1 مقياس الأيون الهيدروجيني

يلاحظ من الجدول (9-3) قيمة الرقم الهيدروجيني لعدد من المواد، إن المواد التي تعتبر حامضية لدرجة عالية أو قاعدية، مثل حامض البطارية والمحاليل القلوية، تعتبر سامة بالنسبة لمعظم الكائنات الحية.

جدول9-3 قيمة الرقم الهيدروجيني لعدد من المواد

العنصر	الرقم الهيدروجيني
حموضة المعدة	1
عصير الليمون	2
الخل	3
المشروبات الخفيفة	4
الجزر	5
المطر الطبيعي	6
الحليب	7
بياض البيض	8
صودا الخبز	9
الأمونيا	11
المحاليل القاعدية	13

9-5-1 التأثيرات الطبيعية المؤثرة على الأيون الهيدروجيني للماء

1- التأثيرات الموسمية

- عندما يسقط المطر من خلال الهواء، فإنه يعمل على إذابة الغازات مثل غاز ثاني أوكسيد الكربون، ويكوّن حامض ضعيف. المطر الطبيعي وغير الملوث والثلوج تعتبر حامضية إلى حد ما ولها درجة حامضية ما بين 5 و 6، وعندما تذوب الثلوج بسرعة فربما لا تتسرب خلال التربة قبل أن تصل إلى المجرى المائي، وإن معادن التربة لا تستطيع أن تُنَظّمها. وعند تلك الأوقات، فإن مياه المجرى المائي ربما أيضاً تكون حامضية خفيفة.
- خلال فصل الخريف، فإن الأوراق المتحللة والأشجار الإبرية في المجرى المائي ربما تزيد من حامضية الماء.

2 - التأثيرات اليومية

- عندما تقوم النباتات المائية بتحويل أشعة الشمس إلى طاقة خلال عملية التمثيل الضوئي، فإنها تزيل ثاني أوكسيد الكربون من الماء. وهذا يمكنه أن يرفع درجة الحامضية في المجرى المائي. وطالما إن نشاط التمثيل الضوئي الذي يحدث تحت أشعة الشمس يتوقع أن تحدث أعلى درجة حامضية في المجرى المائي في بداية فترة ما بعد الظهر. ومستويات درجة الحامضية الأقل سوف تحدث مباشرة قبل شروق الشمس.

9-5-2 التأثيرات الإنسانية المؤثرة على الأيون الهيدروجيني للماء

- الأمطار الملوّثَة، وأيضاً تعرف "بالأمطار الحامضية" تعمل على زيادة حموضة المياه بالقرب من الكثير من المناطق الصناعية أو المدنية الكبرى. والمساهم الرئيسي في الأمطار الحامضية هو حامض الكبريتيك (يتم إنتاجه بواسطة صناعات حرق الفحم) وحامض النتريك (يتم إنتاجه بواسطة محركات السيارات).
- طرح الملوثات الصناعية بشكل مباشر في المياه التي يمكن أن يكون لها تأثيرات كثيفة ومباشرة.
- التعدين الذي يمكن أن يعرض الصخور لمياه المطر ومن ثم تنتج جريان حامضي، وتصريف التعدين يمكن بالتالي أن يعمل على إدخال الأحماض إلى المجاري المائية، وإذا كان عزل المجرى المائي رديئاً فإن درجة الحامضية ربما تصل إلى مستويات سامة.

9-5-3 أهمية الأيون الهيدروجيني

1. يستفاد من معرفة الرقم الهيدروجيني أو تركيز أيون الهيدروجين في تهيئة الماء للمعالجة المطلوبة، إذ يمكن إجراء التعديلات المناسبة على نوعية المعالجة.
2. يفيد معيار أيون الهيدروجين في تحديد صلاحية النهر أو الجدول لنمو وتكاثر الحياة السمكية.
3. تتأثر معظم المواد بتغير تركيز هذا المعيار وتشير الدراسات إلى حصول تسمم في هذه المواد عند حصول هذا التغيير.
4. تعمل قيمة تركيز أيون الهيدروجين على السيطرة على وحدات التخثير والتلبيد في محطات تصفية المياه وفي وحدات هضم الحمأة في وحدات معالجة مياه الفضلات.

9-5-4 قياس الأيون الهيدروجيني الـ (PH)

توجد طريقتان لقياس تركيز أيون الهيدروجين هما، طريقة الصبغات والطريقة الكهربائية. ففي الطريقة الأولى يضاف كاشف إلى الماء ويجري مقارنة اللون في المحلول مع عدة ألوان قياسية معروفة التركيز. كما يتم استخدام شرائط المؤشر الملونة التي يتم غمسها في الماء. والألوان على الشرائط تتفاعل مع الماء وتتغير، يتم مقارنة تغير اللون مع مخطط من أجل تحديد درجة حامضية الماء. إن هذا الفحص يأخذ من 5 إلى 10 دقائق، وإذا لم يتم غمس الشريط في الماء بشكل آمن، فيمكن أن يجمع الماء بواسطة دلو معلق من جسر أو رصيف ومن ثم يتم أخذ العينة. إن درجة حامضية المياه المجمّعة ربما تتغير، لذلك ينبغي أخذ العينة مباشرة.

إما في الطريقة الثانية فيستخدم جهاز قياس تركيز هذا الأيون ويتألف الجهاز من قطبين يغمران في الماء ويمرر تيار كهربائي خلال الدائرة الكهربائية، تقرأ نتيجة تركيز هذا الأيون على قرص مثبت في الجهاز.

9-5-5 استخدامات تركيز الأيون الهيدروجيني

تشير معايير وكالة حماية البيئة الأمريكية إلى ضرورة أن تكون مقادير تركيز أيون الهيدروجين بين (6,5- 9) للحياة المائية في المياه العذبة، بينما تقع قيمته بين (6,5- 8,6) للحياة في المياه المالحة، وتقع قيمته بين (5-9) للمياه التي تستخدم للأغراض المنزلية.

يضاف إلى استخدام قيم تركيز هذا الأيون في إجراء التحويرات المناسبة في محطات تصفية المياه، فإن معرفة قيمة هذا الأيون تفيد في عمليات إزالة الحديد والمنغنيز، وفي السيطرة على الطعم وعلى عمليات التآكل والصدأ في الأنابيب ووحدات التصفية.

6-9 الفلوريدات Fluoride

تُعد الفلوريدات سامة للحياة البشرية والحيوانية إذا تواجدت في المياه بتراكيز عالية، ولكن إذا كانت ذات تركيز قليل (1 ملغم \ لتر) فإنه يفيد في منع تسوس الأسنان عند الأطفال، وقد جرت العادة في محطات تصفية المياه في الدول الغربية أن يضاف هذا العنصر بالكميات المطلوبة إلى الماء ليحقق الغرض المطلوب خاصة عند عدم توفره بالكمية الكافية.

تشير معايير منظمة الصحة العالمية إلى أن أقصى تركيز للفلوريدات في الماء يجب أن لا يتجاوز 1.5 ملغم \ لتر.

7-9 الحديد Iron

يسبب الحديد طعماً مراً في المياه ويتواجد عادةً على شكل بيكربونات أو كبريتات. كذلك يكثر الحديد في المياه الجوفية، يذوب الحديد في المياه الحاوية على حامض الكربونيك وعند تماسه مع الأوكسجين فإن الحديد المذاب يترسب على شكل لبادات من هيدروكسيد الحديد. يفضل عدم استخدام المياه الحاوية على الحديد في معظم العمليات الصناعية ومحلات الغسل والكي.

8-9 التوصيل الكهربائي Electrical Conductivity

يُعرف التوصيل الكهربائي بأنه اصطلاح عددي لقابلية محلول مائي لحمل تيار كهربائي، وتعتمد هذه القابلية على عدة عوامل منها:

- نوع ووجود الأيونات.
- درجة التركيز الكلية للأيونات.
- حركة وتكافؤ ودرجات تركيز الأيونات.
- درجة حرارة المحلول.

توصيل المياه النقية الخالية من الأملاح للتيار الكهربائي يكون بشكل رديء، وعند وجود الأملاح والقواعد والحوامض فإن ذلك يزيد من التوصيل الكهربائي في الماء.

يُعبر عن وحدة هذا المصطلح بمقلوب أوم mhos أو (موز) وقد يجري استخدام أجزاء هذه الوحدة كالملي موز أو المايكروموز.

يستخدم التوصيل الكهربائي لتحديد نقاوة الماء المقطر أو لبيان التغاير في تراكيز الأملاح المذابة في المياه الخام، وقد يستخدم للتعبير عن تركيز الأملاح الذائبة في المياه بوحدة ملغم \ لتر، وتوجد العديد من الصيغ الرياضية التي تصف العلاقة بين الأملاح الذائبة والتوصيل الكهربائي من أشهرها

تركيز الأملاح الذائبة (ملغم\لتر) = 0.64 × قيمة التوصيل الكهربائي(بوحدة مايكروموز\سم)

إن معظم محاليل الأحماض غير العضوية والقواعد والأملاح عامة تكون لها موصلية كهربائية جيدة. فمثلا تكون الموصلية لماء حديث التقطر ما بين 0,5 إلى 2 ميكروموز\سم، ويزداد مقدار الموصلية إلى ما بين 2 إلى 4 ميكروموز\سم بعد بضعة أسابيع من تخزينها. وتُعزى هذه الزيادة لامتصاص ثاني أوكسيد الكربون من الجو ولامتصاص الأمونيا بنسبة اقل.

إن الماء النقي موصل للكهرباء كما وإن زيادة الشوائب والأملاح الذائبة في الماء ترفع من مقدار الموصلية، وتتناسب مع درجة تركيز المواد الصلبة، كما موضح في المعادلة الأتية:

$$TDS = EC \times a$$

إذ أن: a: حد ثابت، EC: الموصلية الكهربائية للمحلول (ميكروموز\ سم)، TDS: درجة تركيز المواد الصلبة (ملغرام\لتر)

مثال 3

درجة تركيز المواد الصلبة لعينة من الماء تساوي 1400ملغم/لتر، والموصلية الكهربائية لها تعادل 2000 ميكروموز\سم .أوجد الموصلية الكهربائية لعينة أخرى تحتوي على 5950 ملغم\لتر من المواد الصلبة.

الحل

1- باستخدام المعادلة أعلاه لإيجاد الحد الثابت:

$$a = TDS/EC = \frac{1400}{2000} = 0.7$$

2- إيجاد الموصلية الكهربائية للعينة الأخرى، باستخدام القانون المدرج في الخطوة 1 أعلاه:

$$EC_2 = TDS_2/a$$

$$= \frac{5950}{0.7} = 8500 \text{ Micro mhos/cm}$$

10-9 أنواع المخثرات Coagulants types

تصنف المخثرات الكيميائية إلى نوعين رئيسين هما المخثرات الرئيسة ومساعدات التخثير. فالنوع الأول يعمل على معادلة الشحنات الكيميائية في الماء والتي تسبب التصاق الجسيمات مع بعضها. ومن الناحية الكيميائية فإن المخثرات تكون إما أملاح معدنية مثل (الشب)، أو على شكل بوليمرات. وهذه الأخيرة هي مركبات مصنعة تتألف من سلسلة طويلة من الجزئيات الصغيرة. فضلاً عن ذلك فإن البوليمرات تصنف إلى نوعين أيضاً البوليمرات موجبة الشحنة والبوليمرات سالبة الشحنة.

عموماً فإن المخثرات الكيميائية تُدرج ضمن الأنواع الآتية:

1- كبريتات الألمنيوم (الشب).
2- كبريتات الحديدوز (الزاج).
3- كبريتات الحديديك.

وهناك أنواع أخرى تستخدم في مختلف بلدان العالم، إلا أن الأنواع المذكورة تُعد الأوسع انتشاراً واستخداماً في مختلف الدول ومنها العراق.

1- الشب (كبريتات الألمنيوم)

يُعد الشب أقدم وأوسع المخثرات استخداماً، رمزه الكيميائي ($Al_2(SO_4)_2$ $18H_2O$)، والشب حامضي ويميل لونه إلى اللون الرمادي ويتوفر على شكل كتل أو أكوام أو على شكل مسحوق. تبلغ كثافة الشب(1000- 1100) كغم\م^3 ووزنه النوعي(1.25-1.36).

يمكن استخدام الشب بشكل جاف أو على شكل سائل وهو سريع الذوبان في الماء. وعند إضافته إلى الماء فإن الشب يتفاعل معه وينتج أيونات موجبة الشحنة والتي تجعل من هذه المادة الكيميائية مخثراً فعالاً جداً .

مزايا الشب

1- قابلية سريعة للذوبان في الماء.
2- لا يسبب بقع حمراء أو قهوائيه اللون على الأرضيات أو جدران المُعدات كما هو الحال مع كبريتات الحديديك.
3- القدرة على إنتاج مياه عالية النقاوة.
4- تكوين لبادات جيدة.

5- فرصة الترسيب أكبر.

6- خفض اللون والطعم.

7- رخيص نسبياً.

مساوئ الشب

1- يكون فعال جداً فقط عند مدى معين من الرقم الهيدروجيني.

2- قد تتعرقل عملية التلبيد في بعض أنواع المياه عند استخدام الشب.

3- تكوين أو زيادة عسرة الماء.

4- زيادة إذابة ثنائي أوكسيد الكربون.

2- الزاج (كبريتات الحديدوز)

هو مركب حامضي حبيبي ذو لون أخضر يميل إلى القهوائي والأصفر ويتوفر على شكل حبيبات أو بلورات أو على شكل أكوام. عادة ما يستخدم على شكل محلول تركيزه 4-8% ويصلح للتعامل مع مياه ذات قلوية ورقم هيدروجيني ضعيف أو منخفض ويعمل على تكوين لبادات هيدروكسيد الحديديك.

من الضروري إضافة الجير لتأمين حصول التخثير في هذه المياه. ولهذا السبب فإن الزاج أو كبريتات الحديدوز لا تستعمل في تخثير المياه ذات الألوان الشديدة والتي يكون التخثير فيها على احسنه عندما تكون قيمة الرقم الهيدروجيني أقل من (6) .

تبلغ جرعة الجيرالمضافة بحدود (0.27) ملغم/لتر لتتفاعل مع (1) ملغم \ لتر من الزاج. وعموماً فإن اللبادات المتكونة جراء تفاعل الزاج مع الجير تكون هشة وقابلة للتكسر وذات وزن نوعي عالي.

3- كبريتات الحديديك

تتوفر هذه المادة تجارياً على شكل مادة لا مائية يجري نقلها وخزنها في براميل خشبية وهذه المادة قابلة للذوبان في كمية محددة من الماء الفاتر لذلك يجب استخدام محلول خاص للتعامل مع هذه المغذيات الكيميائية وهذا المحلول يتكون من جزء واحد من كبريتات الحديديك يُذاب في جزئين من الماء لغرض تكوين محلول تركيزه (40 %)

ميزات كبريتات الحديديك

1- يتكون هذا المركب عند رقم هيدروجيني منخفض أقل من (9).
2- هيدروكسيد الحديديك غير قابل للذوبان في الماء عند رقم هيدروجيني متباين بشكل واسع وهو بذلك عكس هيدروكسيد الألمنيوم الذي يعمل عند مدى رقم هيدروجيني بين(7- 8.5).
3- اللبادات المتكونة مع المخثرات الحديدية أكثر من نظيرتها المتكونة باستخدام الشب.
4- هيدروكسيد الحديديك لا يعود للذوبان عند قيمة رقم هيدروجيني عالي.
5- المخثرات الحديدية قد تستخدم لإزالة اللون عند رقم هيدروجيني عالي كما هو الحال مع محطات تصفية المياه.



شكل 9-2 جهاز تحديد كمية المخثرات المطلوب إضافتها لمعالجة عكارة المياه

9-11 مساعدات التخثير Coagulants Aids

هي مواد لا عضوية يجري استخدامها مع المخثرات الرئيسة لتحسين وتسريع عملية التخثير والتلبيد وذلك بعد تكوين لبادات كثيفة وسريعة الترسيب. وعند إضافة مساعدات التخثير هذه إلى المياه فإنها تزيد من كثافة اللبادات البطيئة الترسيب وتزيد من متانتها وصلابتها كي لا تتكسر خلال عملية المزج والترسيب.

عادة ما تستخدم المخثرات الرئيسة في عمليتي التخثير والتلبيد في حين تستخدم مساعدات التخثير لتقليل فترة التلبيد. وعندما تكون عكارة المياه واطئة جداً، تحمل جسيمات مساعدات التخثير شحنات

سالبة مما يجعلها معرضة للجذب نحو أيونات الألمنيوم الموجبة الشحنة. وهذه الناحية مهمة جداً في المياه واطئة العكارة والتي لا تستجيب للتخثير بسهولة في الحالات الاعتيادية.

تُعد مساعدات التخثير عالية الكلفة لذلك ينبغي استخدامها بعناية وحذر وبالقدر المطلوب، ومن الأنواع الشائعة الاستخدام لمساعدات التخثير المستخدمة في محطات التصفية الآتي:

1- طين البنتونايت.

2- كربونات الكالسيوم.

3- سليكات الصوديوم.

4- البوليمرات سالبة الشحنة.

5- البوليمرات اللاأيونية.

أسئلة الفصل التاسع

س1) ما المقصود بالقاعدية، وما هو تأثيرها في الماء.

س2) عرف العسرة مبيناً أنواعها ومصادرها.

س3) اذكر النقاط السلبية للمياه العسرة.

س4) ماهي الأضرار التي يسببها استخدام الماء العسر في المراجل والأنابيب.

س5) وضح كيفية قياس العسرة.

س6) اذكر الطرائق الرئيسة لإزالة العسرة معززاً إجابتك بالمعادلات الكيميائية.

س7) ماذا يقصد بالرقم الهيدروجيني، كيف يتم قياسه وماهي تأثيراته.

س8) عرف التوصيل الكهربائي مبيناً العوامل التي تؤثر في قيمته.

س9) عينة ماء حجمها (0.5)لتر وتركيز أيون الهيدروجين فيها (11). جرى تسحيحها باستخدام ما مقداره (50) مليلتر من حامض الكبريتيك ذو عيارية (0.02) لحين وصول تركيز الأيون الهيدروجيني إلى (5). احسب القاعدية الكلية.

الفصل العاشر

التبادل الأيوني

Ion-Exchanger

الفصل 10

محتويات

تعلم المواضيع

التبادل الأيوني

- ضرورة التبادل الأيوني
- تاريخ عملية التبادل الأيوني
- سعة التبادل الأيوني
- نظرية المبادلات الأيونية
- مواد التبادل الأيوني
- أنواع راتنجات التبادل الأيوني
- أنواع منظومات التبادل الأيوني
- ميزات استعمال عملية التبادل الأيوني
- محددات استعمال التبادل الأيوني
- تطبيقات المبادلات الأيونية
- عملية إزالة الأيونات
- الشحوم والزيوت

التبادل الأيوني　　*Ion-Exchanger*

1-10 ضرورة التبادل الأيوني

تحتوي كل المياه الطبيعية على تراكيز مختلفة من الأملاح الذائبة التي عند تفككها أو تحللها تعمل على تكوين أيونات مشحونة. فالأيونات الموجبة الشحنة تسمى الكاتيون أو الأيونات الموجبة، في حين يطلق على الأيونات سالبة الشحنة بالأنيون أو الأيونات السالبة. تؤثر هذه الأيونات أو الشوائب بشكل عام على كفاءة منظومات التطبيقات الصناعية كالمراجل أو غيرها بشكل أو بآخر.

تعمل الشوائب على تكوين القشرة في المراجل وعسرة المياه وبالتالي فإن الإفراط في تسخينها يترتب عليه فشل ذريع في أداء هذه المنظومات وأخطار كارثية مكلفة جراء وجود القشرة والشوائب الأخرى، على هذا الأساس يتوجب إزالة عسرة المياه من إمدادات المياه قبل استعمالها في مياه التغذية للمراجل. ويتطلب هذا الأمر في حال استعمال مراجل عالية الضغط إلى إزالة كل أنواع الأيونات بما في ذلك ثنائي أوكسيد الكربون والسليكا. ولهذا الغرض تم استنباط منظومة التبادل الأيوني لتعمل على إزالة الأيونات الذائبة بشكل فعال من المياه.

تقوم فكرة هذه المبادلات على استبدال أحد الأيونات بآخر والعمل على الاحتفاظ به وقتياً لحين إطلاقه إلى محلول التنشيط. ففي منظومة التبادل الأيوني تستبدل الأيونات غير المرغوبة كالكالسيوم والمغنيسيوم المسببة للعسرة والقشرة في المراجل بأيونات الصوديوم.

2-10 تاريخ عملية التبادل الأيوني

عرف الزيولايت وتطبيقاته في التبادل الأيوني منذ القدم، ولو لم يُعرف تركيبه في وقته وآلية التبادل الأيوني التي تتم عليه، فمثلاً يروى أنه قبل ثلاثة آلاف عام تمكن أرسطو من تحويل ماء البحر إلى ماء صالح للشرب باستعمال حجر كان يأخذه معه في أسفاره البحرية. وفي عام 1756 أطلق العالم السويدي Cronstedt اسم الزيوليت على صخور طبيعية (وهي سليكات الصوديوم والألمنيوم). وفي العام 1850 عرف أنه يمكن إبقاء مكونات التسميد في التربة بالقرب من جذور النباتات.

في العام 1901 تم مخبرياً تحضير أول زيولايت صناعي وبذلك فتحت حقبة جديدة في تاريخ الزيولايت لتأخذ الزيوليتات المصنعة مكاناً مهماً في التطبيق الصناعي وذلك لتمتعها ببنية موحدة وبالتالي انتقائية عالية، وفي عام 1940 استخدمت تقنية التحليل بالأشعة تحت الحمراء للتحليل البنيوي.

وأخيرا في العام 1956 تم الإنتاج الصناعي لزيولايت محدد البنية تماماً بمئات آلاف الأطنان (تم التأكد من بنيته بمساعدة أشعة (X) وصيغتها تقترب من الرمز التالي $Na_2O\ .R_2O_3.\ xSiO_3$

nH_2O حيث كل R_2O_3 يحتوي على أكاسيد مستردة Amphoteric (مثل أوكسيد الألمنيوم والحديد) وبعد ذلك تتالى إنتاج أنواع جديدة من الزيوليتات ودرست هذه الزيوليتات وتوسعت تطبيقاتها لتشمل مجالات واسعة (معالجة المياه والامتزاز، مناخل جزيئية، وساطة في الصناعة البتروكيميائية).

استخدمت الزيوليتات الصناعية كمبادلات أيونية في معالجة المياه وخاصة نزع الأيونات الموجبة واستمر ذلك حتى العام 1955 تاريخ اصطناع المبادلات الأيونية البوليميرية المصنعة (الراتنجات) التي تتمتع ببنية محددة ودقيقة، إذ وجد لها حيزاً واسعاً للاستعمال كمبادلات أيونية، وقد دفع النجاح الذي أبدته هذه المواد في معالجة المياه للحلول جزئياً مكان الزيوليتات وإلى التوسع في دراستها للتوصل إلى اصطناع وإنتاج أنواع مختلفة من هذه المواد (عشرات المواد) لكل منها تركيب خاص وبالتالي تطبيق خاص. بعد ذلك جرى استبدال مادة الزيولايت المصنعة بمادة الرمل الأخضر وهي مادة طبيعية لها سعة تبادل أيوني أقل من المادة المصنعة، إلا إن لها ثبات فيزيائي أكبر مما يجعلها أكثر ملاءمة للاستعمالات الصناعية.

3-10 سعة التبادل الأيوني

تعرف سعة التبادل بأنها مقدار الأيونات التي يتم استبدالها بوحدة واحدة من مادة الراتنجات في المحلول. يعبر عن السعة التبادلية بوحدات كغم لكل قدم مكعب من كربونات الكالسيوم.

تقاس سعة المبادلات الأيونية للراتنجات بواسطة عدد الشحنات التي يمكن استبدالها لكل وحدة حجم، وعملياً يتم باستعمال عمود بسيط يحتوي على حجم معلوم من الوسط الناقل.

كمية المبادلات الأيونية الكلية تتناسب مع عدد شحنات الوسط الناقل المستهلكة أو المستنفدة Exhausted وشحنات الوسط الناقل. حيث تكون سعة راتنجات المبادلات الأيونية المستخدمة لإزالة العسرة من الماء عادةً ما بين 100 – 1500.

استمرت التطويرات والتحسينات على أنظمة التبادل الأيوني وجاء استعمال الزيولايت الكربوني ليساعد في توسيع استعمال المبادلات الأيونية بعملية دورة الهيدروجين، وهذه العملية الأخيرة تساعد في خفض القلوية أو القاعدية فضلاً عن العسرة.

4-10 نظرية المبـــادلات الأيونـــية Ion-Exchange Theory

تعتمد تقنيات معالجة المياه على كثير من الخواص والظواهر الكيميائية، والفيزيائية واعتمدت هذه التقنية في كثير من مجالات الصناعة، ويتطرق لها هذا الفصل كإحدى التقنيات المهمة جداً في عملية معالجة المياه.

تعرف المبادلات الأيونية بأنها عبارة عن عملية تعتمد على الامتزاز Adsorption، وتستخدم للتبادل العكسي Reversible Interchange للأيونات ذات الشحنات المتشابهة بين كل من مواد منظومة التبادل الأيوني ويطلق عليها مصطلح الراتنجات وبين المحلول المراد امتزاز الأيونات منه.

أول ما استخدمت هذه التقنية استخدمت لعلاج عسرة الماء، وذلك بإبدال أيونات الكالسيوم Ca^{+2} والمغنسيوم Mg^{+2} بأيونات الصوديوم ، بحيث أن Na_2R تمثل مواد منظومة التبادل الأيوني والـ R تمثل شق البوليمر Polymer السالب الشحنة.

$$Ca^{+2} + 2NaR \text{ ------------ } CaR_2 + 2Na^{+2}$$

$$Mg^{+2} + 2NaR \text{ ------------ } MgR_2 + 2Na^{+2}$$

عندما يتم استعمال أو استهلاك كل المبادلات Exchange فإنه يمكن تجديد نشاطها وفعاليتها Regenerated بواسطة غسلها Flushing بمحلول ملحي من كلوريد الصوديوم NaCl تركيزه (5 – 10%).

$$CaR_2 + 2Na^{+} \text{ ------------ } Ca^{+2} + 2NaR$$

$$MgR_2 + 2Na^{+} \text{ ------------ } Mg^{+2} + 2NaR$$

الأيونات المستخدمة لإزالة العسرة من الماء Softening تعتمد تفاعلاتها على Down Flow Fixed Bed Reactor، توضع حبيبات الراتنجات Granular Resin محصورة في حوض من الحديد Enclosed Metal Tank نوعاً ما يكون شبيه لمنظمات سرعة الغاز Pressurized Rapid في مخططات الفلاتر الرملية Sand Filter بحيث يكون عمق الطبقة Depth of the Bed ما بين (8-2)م، وذلك لتجنب الدورات الصغيرة للمياه Short-Circuiting Water عند معدل جريان للماء أقل من (3 م/دقيقة) للوسط، وما إن يحدث تدني لفعالية أو كفاءة Once Performance Fall طبقات

الراتنجات فإن الأمر يحتاج لغسيل عكسي أو رجعي Back-Washed بماء نظيف خالي من أيونات العسرة لإزالة الأجسام الصلبة Solid ومن ثم يتم القيام بعملية Regenerated.

يجب أن تكون المياه المستخدمة لعملية إزالة العسرة Softening ذات عكارة منخفضة وخالية تماماً من أي عضويات لأنها سوف تتحول إلى أجسام ممتزة Adsorbed في الوسط أو البيئة. تصنع معظم أوساط المبادلات من حبيبات أو راتنجات البوليمر على الرغم من أنها توجد في الطبيعة على هيئة الزيولايت Zeolites الذي يكون عبارة عن ألومينا وسليكات الصوديوم. فالمبادلات الراتنجية متوفرة لإزالة مدى كبير من الكاتيونات (الأيونات الموجبة الشحنة) والأنيونات (الأيونات السالبة الشحنة). إذ أن الكاتيونات عادة ما تتحول إلى أيونات +Na أو +H بينما يتحول الأنيون إلى أيونات OH^- كما موضح في العمليات الكيميائية أدناه:

$$2HR + Ca^{+2} \rightarrow R_2SO_4 + 2OH^-$$

إذ تتجدد بواسطة إضافة حامض الكبريتيك ذو تركيز مقداره (2-10%) وكما يأتي:

$$CaR_2 + 2H^+ \rightarrow 2HR + Ca^{+2}$$

كما يتبادل أيون الهيدروكسيد مع أيون الكبريتات وكما يأتي:

$$2ROH + SO_4^{-2} \rightarrow R_2SO_4 + 2OH^-$$

ويُعاد تجديدها بإضافة هيدروكسيد الصوديوم بتركيز مقداره (5-10%) وكما يأتي:

$$R_2SO_4 + 2OH^- \rightarrow 2ROH + SO_4^{-2}$$

ويتم تطبيق هذه العملية أيضاً لإزالة بعض الكاتيونات مثل الكروميوم، الباريوم، الإسترانيوم والراديوم. وكذلك بعض الأنيونات مثل النترات، الفلورايد، السيانيد والهيومايد.

الراتنجات المختلفة لها ضروب مختلفة من التشابه Affinity (قوة تحمل ذرات الأجسام المختلفة في طبيعتها على الاتحاد لتشكل مركباً ما) ويكون هذا التشابه ذو صلة بتراكيز الأيونات.

10-5 مواد التبادل الأيوني

يُعد الزيولايت واحداً من أهم مواد التبادل الأيوني. وتجد هذه المادة تطبيقاً واسعاً في المبادلات الأيونية التي تستخدم في المعامل والمصانع في العراق وخاصة معامل السكر والنسيج.

يشكل الزيولايت معدناً مسامياً يصل فيه حجم الفراغات المسامية إلى نسبة 50% من حجمه الكلي. ويعتبر الزيولايت المعدن الأقل كثافة بين جميع معادن السيليكات الرباعية التركيب، ويضم

مجموعة من معادن الألومينوسيليكات القلوية والكلسية التي تحتوي شبكتها البلورية على ذرات من الماء سهلة الانفصال والالتحام بالنظام البلوري دون تأثير فيه، وبالتالي يمكن أن يستعاض عنها بأيونات أخرى متنوعة. وينشأ الزيولايت الطبيعي نتيجة التفاعل بين الماء المسامي) المتواجد في الشبكة البلورية) وبين الزجاج البركاني أو معادن السمكتايت والفلسبار والبلاجيوكليز والنيفلين أو السليكا. ويتحقق التبلور عند وجود نسبة عالية من المغنيسيوم والهيدروجين إلى نسبة الصوديوم - البوتاسيوم - الكالسيوم ، بحيث يتوقف نوع الزيولايت المتشكل على طبيعة الصخور التي انحدر منها ودرجة حرارة الماء وضغط النشاط الأيوني.

أما أنواع الزيولايت الأكثر شيوعاً فهي: **الأنالسيم والشابازايت والكلينوبتيلولايت والأيريونايت والهارموتوم والهولاندايت واللومونتايت والميزولايت والموردينايت والناترولايت والفيلبيسايت**.

10-5-1 تركيبة وعمل الزيولايت

الزيولايت المعدني هو الدايلكايت غير الذائب للصوديوم أو البوتاسيوم مع الألمنيوم أو الحديد وماء الإماهة Water of Hydration ويكون رمزه كما يأتي:

Na_2O،AlO_3،$SiO_2)x$،$H_2O)n$)). يكون الصوديوم والبوتاسيوم قابلين للتبادل بصورة متجددة مع مجموعة القلويات الترابية Sr،Mg،Ca،(Fe) والأمونيا وبعض الفلزات الثنائية التكافؤ مثل الحديد والمنغنيز وكما مبين في أدناه:

$$CaZ + 2Na \rightarrow Na_2\,Z + Ca^{+2}$$

$$Na_2Z + Mg^{+2} \rightarrow MgZ + 2Na$$

تشير المعادلتان أعلاه إلى تكوين MgZ و CaZ، ولكن عند التراكيز العالية للصوديوم فإن التفاعل يكون عكسياً. يستعمل محلول الملح لإعادة شحن الزيولايت وبعملية الزيولايت يمكن إنتاج ماء ذي عسرة تساوي الصفر تقريباً (1-5 ملغم \ لتر).

إن الرمل الأخضر أوالزيولايت الطبيعي ينتج بالمعاملة مع الحرارة وهيدروكسيد الصوديوم. والرمل الأخضر له سعة تبادلية تبلغ 5700-6900 غرام \متر مكعب.

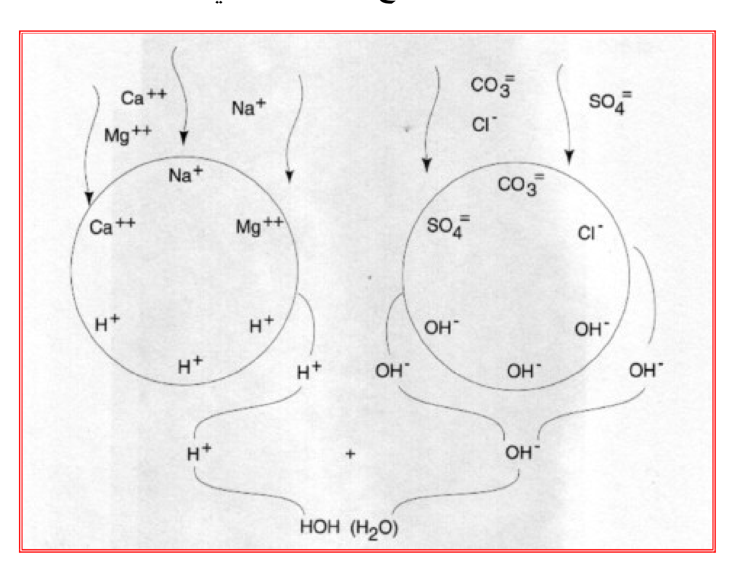
إما الزيولايت الصناعي فينتج من خلط محاليل عديدة مثل الومينات الصوديوم وسليكات الصوديوم والتي تكون هلاماً. تبلغ كثافة الزيولايت الصناعي نصف كثافة الرمل الأخضر أي بحدود 800

كغم/متر مكعب. إما سعة التبادل فتصل إلى 14000-17000 غرام/متر مكعب والشكل (10-1) يوضح نموذج من هذا المبادل الأيوني.

يحتاج الرمل الأخضر الطبيعي لإعادة الشحن إلى 3.5 -7.0 غرام من الملح لكل غرام من العسرة المُزالة ويحتاج إلى فترة تتراوح بين 20-30 دقيقة لإعادة الشحن. إما الزيولايت الصناعي فيحتاج إلى 2.5-3.5 غرام لكل غرام من العسرة المزالة مع فترة شحن بحدود نصف ساعة أو اكثر. ويكون الزيولايت الصناعي أقل ديمومة من الزيولايت الطبيعي علماً إن باستطاعة غاز ثنائي أوكسيد الكربون بتركيز أكبر من 15 ملغم/لتر تحليل الزيولايت الصناعي. والشكل (10-2) يوضح عملية التبادل الأيوني.



شكل10-1 راتنج التبادل الأيوني



شكل 10-2 عملية التبادل الأيوني

10-5-2 الاستعمالات

يستخدم الزيولايت تبعاً لبنيته الخاصة، في عمليات الامتزاز الذري والتبادل الأيوني. ويتوقف سعر الزيولايت الطبيعي على ندرته وقدرته على إتمام التبادل الأيوني. وقد بدأ استعمال الزيولايت في الصناعة بشكله المصطنع (وليس الطبيعي). وما يزال الزيولايت المصنع يستخدم في العديد من أوجه الاستعمال المهمة (المنظفات الصناعية، والمحفزات الكيميائية، والتجفيف - الامتزاز) حيث تكون الجودة أكثر تجانساً، والبلورات أصغر حجماً، والمسامات أكثر انتظاماً من الزيولايت الطبيعي. ونظراً للارتباط الضعيف لبعض الأيونات بالبنية التركيبية الرباعية للزيولايت، وبالتالي سهولة تبادلها مع أيونات أخرى، فإن خاصية التبادل الأيوني في الزيولايت يمكن أن تستخدم في جانبين هما:

1- في الصناعات المرتبطة بالنفايات حيث يستخدم الزيولايت لإزالة الأيونات الضارة من النفايات المشعة وإزالة الأمونيا من مياه الصرف الصحي والنفايات الزراعية.
2- في الزراعة وذلك بتعزيز تحرير الأمونيا بصورة بطيئة من الأسمدة وذلك بإضافة الغذاء عبر زيادة عامل التحول الغذائي والقيام بدور الحامل للأعشاب والفطريات والحشرات الضارة.

10-5-3 محاسن الزيولايت

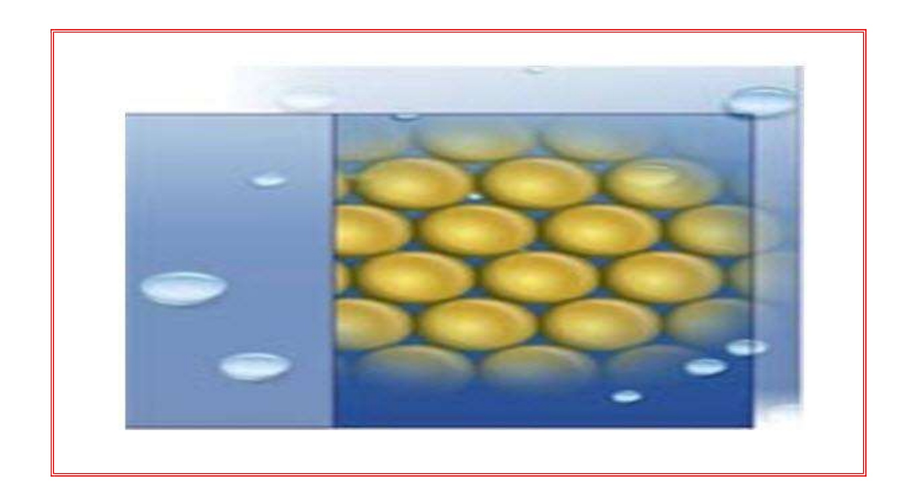
من محاسن التيسير الزيولايتي هو صغر حجم المنظومة وبساطة تشغيلها وقد يكون التشغيل ذاتياً. أم المساوئ التي تؤخذ على الزيولايت فهي محدودية استعماله في حال العكارة العالية أو احتواء المياه على كبريتيد الهيدروجين. كما لا يمكن استعماله لمياه ذات عسرة عالية تبلغ (800 ملغم/لتر فأكثر) وكذلك يتحدد الاستعمال للمياه الحاوية على تراكيز عالية من الصوديوم.

10-6 أنواع راتنجات التبادل الأيوني

الراتنجات هي مواد حبيبية لا تنحل بالماء تحوي أيونات قابلة للتبادل مع الأيونات الموجودة في الماء، ولها أنواع كثيرة أهمها:

1. راتنجات تبادل كاتيونية حامضية قوية تقوم باستبدال الأيونات الموجبة(الكاتيونات) لجميع الأملاح بأيون الهيدروجين أو الصوديوم الموجودة في الراتنجات، ومنها الراتنجات الكاتيونية المستخدمة في أجهزة تيسير المياه.
2. راتنجات تبادل كاتيونية حامضية ضعيفة تقوم باستبدال أيون الهيدروجين H^+ بكاتيونات أملاح الحوامض الضعيفة فقط كملح بيكربونات الكالسيوم وليس كبريتات الكالسيوم.

3. راتنجات تبادل أنيونية قلوية قوية، هذه الراتنجات قادرة على استبدال أيون الهيدروكسيل OH^- بأنيونات الحوامض جميعاً لذلك تتميز بالقدرة على إزالة السليكا المنحلة، أما تركيبها الكيميائي فهو بولي ستيرين (H_2SiO_3) يحتوي مجموعة أمونيوم رباعية. والشكل (3-10) يوضح نموذج من هذا النوع.



شكل 10-3 راتنجات تبادل أيوني قلوية قوية

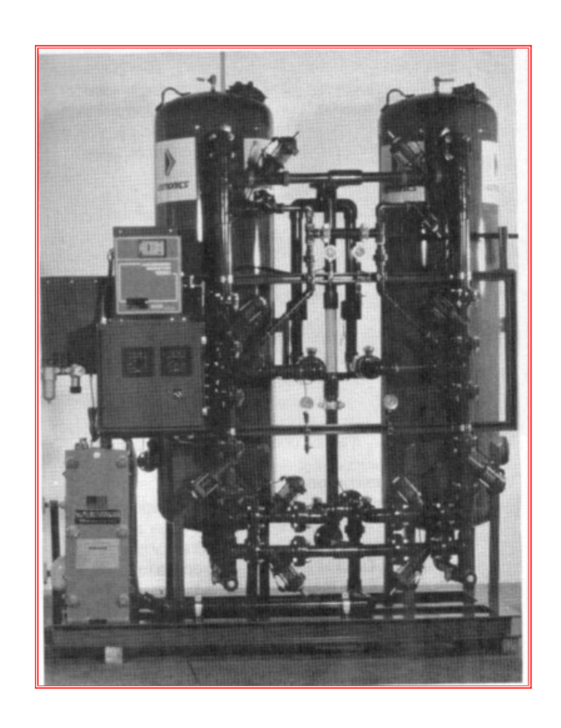
4- راتنجات تبادل أنيونية قلوية ضعيفة تستطيع التخلص من الحوامض القوية فقط مثل (HNO3، H2SO4، HCL) ولكنها غير قادرة على إزالة حامض الكربون أو حامض السليسيوم، والشكل (4-10) يوضح نموذج من هذا النوع.



شكل 10-4 راتنجات تبادل أنيونية قلوية ضعيفة

7-10 أنواع منظومات التبادل الأيوني

تتألف ميسرات المياه من خزانات تعمل بالجاذبية أو الضغط تشبه إلى حد كبير منظومات الرمل أو الكربون المنشط. يبلغ سمك المواد في الزيولايت الطبيعي (200-76) سم وذات حجم فعال (0.30-0.25) ملم. أما في حالة الزيولايت الصناعي فيبلغ سمك الحجم الفعال (0.42) ملم، ويكون اتجاه الجريان نحو الأعلى أو نحو الأسفل وبمعدل يقترب من(0.16- 0.32)م^3/ دقيقة. والشكل (5-10) يوضح مخطط لمنظومة تبادل أيوني.



شكل 10-5 منظومة التبادل الأيوني

تقسم المبادلات الأيونية حسب طبيعة الأيون المستبدل إلى:

أولاً: راتنج تبادل موجب Cat Ion Exchange Resin ويشمل نوعين من المبادلات:

- المبادل الأيوني الحامضي الموجب الضعيف Weak Cation
- المبادل الأيوني الحامضي الموجب القوي Cation Strong

ثانياً: راتنج تبادل سالب (An Ion Exchange Resin) ويشمل نوعين من المبادلات:

- المبادل الأيوني القاعدي السالب الضعيف Weak Anion
- المبادل الأيوني القاعدي السالب القوي Strong Anion

1. المبادل الأيوني الحامضي الموجب الضعيف

يحتوي على مجموعة كربوكسيلية (COO-H+). إن هذا المبادل له القابلية على إزالة الأيونات الموجبة المرتبطة مع البيكربونات((Hco_3^-)) والكربونات($Co_3^=$) والهيدروكسيدات (OH^-) أي يزيل العسرة الكربونية فقط (بيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم) ويتم إعادة الحيوية باستعمال حامض (H_2SO_4) بتركيز قليل، إما في حاله ازدياد التركيز فإن الرزن سوف يتلف.

2. المبادل الأيوني الحامضي الموجب القوي

يحتوي على مجموعة السلفونات (SO^{-3})، إن هذا المبادل له القابلية على إزالة جميع الأيونات الموجبة في الماء (أي يزيل العسرة الدائمة (كلوريدات والكبريتات) إضافة إلى إزالة العسرة المؤقتة. ويتم إعادة الحيوية باستعمال حامض (H_2SO_4).

3. المبادل الأيوني القاعدي السالب الضعيف

يحتوي على مجموعة الأمينات الثلاثية $(R-N)^2$ (CH^3) في هذا النوع يتم إزالة جميع الأيونات السالبة الموجودة في الحوامض القوية فقط وهي NaOH، HCL، H_2SO_4 وإزالة الحامضية تزداد بسبب وجود OH و يتم إعادة الحيوية بواسطة HNO_3.

4. المبادل الأيوني القاعدي السالب القوي

يحتوي على مجموعة أمونيوم رباعي العناصر $\{N(CH_3)_2CH_2CH_2OH\}$، إن هذا المبادل له القابلية على إزالة الأيونات السالبة الموجودة في الحوامض القوية والضعيفة وهي HCL،H_2SO_4،HNO_3،H_2SiO_2،H_2CO_3 ويتم كذلك إزالة السليكا.

تكون انتقائية الرزين Resin الموجب (الأيونات الموجبة) حسب عدد التكافؤ الأعلى ثم الأقل، إما في حالة تساوي عدد التكافؤ فتكون الانتقائية اعتماداً على الوزن الأيوني الأعلى، ثم الأقل ((Ca>Mg>K>Na)) وتنطبق نفس الخاصية على الرزن السالب لكنه في حالة تساوي عدد التكافؤ يكون الانتقاء على الوزن الأيوني الأقل ثم الأعلى (SO_4> CL> HCO_3>Sio_2).

8-10 ميزات استعمال عملية التبادل الأيوني

1. لا يحدث ترسبات في العملية وبذلك يتم تجنب مشاكل الحمأة.
2. الكلفة الابتدائية وكلفة التشغيل قليلة.
3. يمكن التعامل بسهولة مع المواد الكيميائية المستخدمة.

4. يمكن إنتاج مياه خالية من العسرة تماماً أو مع أي مستوى مطلوب منها مقارنة بطريقة الجير-صودا.
5. تتطلب مساحات صغيرة نسبياً.
6. تكون طريقة التشغيل ذاتية وأوتوماتيكية مسيطر عليها.
7. الكلفة الأولية وكلفة التشغيل منخفضة واقتصادية.

9-10 محددات استعمال التبادل الأيوني

1. قلة الكفاءة عند التعامل مع مياه شديدة العكارة لانسداد المسامات.
2. لا يمكن استعمالها مع مياه تحوي تراكيز من الحديد والمنغنيز.
3. تحتاج إلى خبرة وممارسة.

مثال 1

احسب كمية الزيولايت المطلوبة لتيسير مياه محطة طاقتها 2.27 مليون لتر/اليوم. علماً إن المياه ذات عسرة تتراوح بين 286-572 ملغرام/لتر، كما تبلغ الفترة بين إعادة شحن الزيولايت 3 ساعات وسعة التبادل تساوي $27,46 \times 10^6$ ملغم / م^3.

الحل

طاقة المحطة\ الساعة =($2,27 \times 10^6$)\ 24 = 94583,3 لتر

كمية الزيولايت المطلوبة = $94583,3 \times 3$ =283750 لتر

مقدار الانخفاض في العسرة = 572 -286 = 286 ملغم \ لتر

اذا مقدار العسرة المنخفضة = $283750 \times 286 = 81 \times 10^6$ ملغم

لما كانت سعة التبادل تساوي $27,46 \times 10^6$ ملغم لكل متر مكعب

إذاً كمية الزيولايت المطلوب = $\frac{81 \times 10^6}{27.46 \times 10^6} = 2,96$ م^3

10-10 تطبيقات المبادلات الأيونية

للريزين استعمالات كثيرة في مجال معالجة المياه ومعالجة مياه الصرف الصناعي، ومن هذه الاستعمالات:

1. تيسير المياه وإزالة العسرة (إزالة الكلس) بالتبادل الأيوني: تجري هذه العملية بواسطة جهاز إزالة العسرة Softener الذي يحوي فرشة ريزين كاتيوني قوي مشحون بأيون الصوديوم، عندما يصبح الريزين مشبعاً بأيونات الكالسيوم والمغنسيوم القاسية عندها يقوم جهاز (Softener Regeneration) بعملية تنشيط الريزين بالمحلول الملحي بتمرير محلول (5-10%) من كلوريد الصوديوم. إن وظيفة المحلول الملحي NaCl هي إعادة شحن الريزين بأيون الصوديوم Na وذلك بأخذ أيونات الكالسيوم والمغنسيوم من الريزين وإعطاء الريزين أيون الصوديوم، و يمكن بهذه الطريقة أن تنخفض درجة عسر الماء إلى ما يقرب من (0,04 -0,06) درجة.
2. إزالة القلوية: إن الهدف الرئيس من خفض قلوية ماء المرجل هو تقليل كمية ثاني أوكسيد الكربون في البخار الذي يشكل السبب الأساسي لتآكل أنابيب التكاثف، وينطلق ثاني أوكسيد الكربون في المرجل نتيجة تحلل القلوية الكربوناتية والبيكربوناتية، يستخدم هنا ريزين سالب (أيوني قلوي قوي Strong Basic Anionic Resin) لإزالة البيكربونات من الماء.
3. إزالة الأيونات الموجبة والسالبة، وتتم عملية التنشيط للمبادل الأنيوني بالمحلول الملحي، تتطلب كثير من الصناعات ماءً عالي النقاوة وخالياً من الأيونات الموجبة والسالبة، إن الأيونات الموجبة (الكاتيونات) والأيونات السالبة (الآنيونات) هي سبب الموصلية الكهربائية للماء لذلك يمكن استعمال الناقلية كمقياس لنقاوة الماء
4. إزالة النترات.
5. إزالة المعادن الثقيلة.
6. استعمالات كثيرة متعددة: صناعة السكر والكلوكوز، الصناعات الصيدلانية، الصناعات الغذائية، الصناعات الكيميائية، الاستعمالات المخبرية، يستخدم كمواد محفزة للصناعات الإلكترونية، الاستعمالات النووية.

11-10 عملية إزالة الأيونات

تتم عملية إزالة الأيونات على مرحلتين:

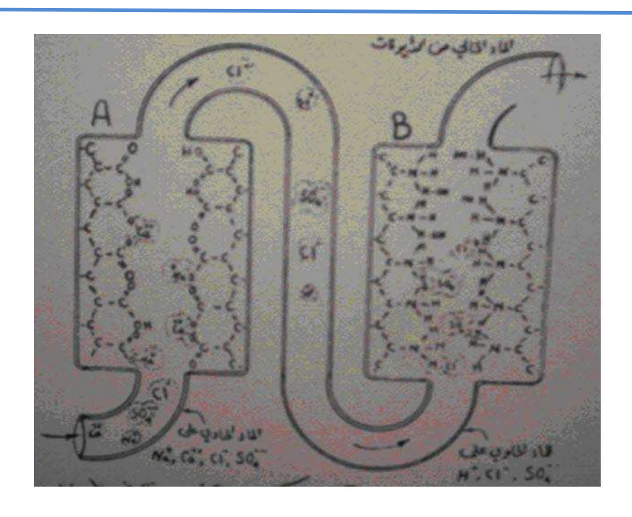
1. **إزالة الأيونات الموجبة:** باستعمال الراتنجات الكاتيونية القوية التي تستبدل الأيونات الموجبة بأيونات الهدروجين، ويتم تنشيط الراتنجات الكاتيونية بالحموض القوية كحامض الكبريت، كما موضح في الشكل (10-6).
2. **إزالة الأيونات السالبة:** باستعمال الراتنجات الأنيونية القوية التي تستبدل الأيونات السالبة بأيونات الهيدروكسي OH، وإن أيونات الهيدروكسيل تقوم بتعديل الحموضة الناتجة من استعمال الريزين الكاتيوني القوي ونحصل على ماء خالٍ من الأيونات.

ويتم تنشيط الراتنجات الأنيونية بالمحاليل القلوية كالصودا الكاوية (NaOH) . مردودية المبادل الكاتيوني والأيوني مهما كانت كبيرة لا تصل إلى 100% في إزالة الأيونات وبالتالي من المفضل وضع مبادل يسمى المبادل المختلط الذي يحوي راتنجات كاتيونية وأيونية لإزالة ما تبقى من أيونات موجبة و سالبة هاربة موجودة في الماء و خصوصاً في المياه الصناعية.



شكل 10-6 صورة لمبادل كاتيوني في محطة حرارية

الشكل (10-7) يوضح تبادل الأيونات الموجبة في الوعاء A والأيونات السالبة في الوعاء B حيث الوعاء الأول يحوي على مادة تنتهي جزيئاتها الطويلة بالوظائف الحامضية R-COOH والوعاء الثاني يحوي حبيبات تنتهي جزيئاتها الطويلة بالوظائف القاعدية $NH_3^+OH^-$



شكل 10-7 عملية التبادل الأيوني بين الوعائين

10-12 الشحوم والزيوت Oils

الشحوم والزيوت مركبات لا تذوب في الماء، لكنها تذوب في مذيبات عضوية مثل البترول والكلوروفورم والأيثر Ether، وهي مركبات استر الكحول أو الجليسيرول والأحماض الدهنية، وتتكون من الكربون والهيدروجين والأوكسجين بنسب مختلفة، والشحوم والزيوت أكثر ثباتاً ضد التحلل البكتيري من بقية المركبات العضوية، غير إنه يسهل تحطيمها بالأحماض المعدنية، الشيء الذي يتكون معه الجلسرين والأحماض الدهنية.

تعيق الزيوت والشحوم المعالجة الحيوية، كما وإنها تكوَن مناظر غير مستحبة عندما يتم التخلص منها على ضفاف الأنهار والسواحل، وعندما توجد الشحوم بكميات كبيرة (عند تنقية المياه) فإنها تسد المرشحات والفتحات ومسام المادة المرشحة، كما وإنها تغطي جدران أحواض الترسيب وتتفكك لتزيد من كمية الزبد والغثاء وتتأثر سلباً مرشحات النضيض وأحواض الحمأة النشطة وذلك لأن الشحوم تحد من النشاط والنمو الحيوي مما يحول دون انتقال الأوكسجين من السائل إلى داخل الخلية الحية، وعليه فمن الواجب استخلاصها قبل البدء في مرحلة المعالجة الحيوية.

أسئلة الفصل العاشر

س1) أين تكمن ضرورة التبادل الأيوني؟

س2) عرف سعة التبادل الأيوني، مبيناً كيفية قياسه.

س3) عرف المبادلات الأيونية، مبيناً كيفية استعمالها في إزالة العسرة، وضح ذلك معززاً إجابتك بالمعادلات الكيميائية.

س4) ما هو الزيولايت؟ وأين يستخدم؟ وماهي تركيبته ووظيفته ومحاسنه؟

س5) اذكر أنواع الراتنجات المستخدمة في عملية التبادل الأيوني.

س6) بين أنواع منظومات التبادل الأيوني.

س7) كيف تقسم المبادلات الأيونية نسبة إلى طبيعة الأيون المستبدل.

س8) اذكر مميزات استعمال طريقة التبادل الأيوني.

س9) اذكر تطبيقات المبادلات الأيونية.

س10) اذكر المراحل التي تتم فيها عملية إزالة الأيونات.

الباب الثالث

الأحياء المجهرية

Microorganisms

الأهداف

الهدف العام

يهدف هذا الباب إلى التعرف على أهمية الأحياء المجهرية وطرق السيطرة عليها.

الأهداف الخاصة

نتوقع أن يكون الطالب قادراً على أن:

1. **يتعرف على أهمية الأحياء المجهرية.**
2. **طرق السيطرة على الأحياء المجهرية.**
3. **أهم الأمراض التي تسببها الأحياء المجهرية في المياه.**
4. **أهم مسببات الأمراض.**
5. **تأثير المعالجات المختلفة للمياه على الأحياء المجهرية.**
6. **يتعرف على طرق أخذ العينات.**
7. **يتعرف على المواصفات القياسية المايكروبيولوجية لمياه الشرب.**

الفصل الحادي عشر

مدخل إلى الأحياء المجهرية

Introduction to the Microorganisms

الفصل 11

محتويات

تعلم المواضيع

- مدخل إلى الأحياء المجهرية.
- أهمية الأحياء المجهرية.

مدخل إلى الأحياء المجهرية

Introduction to the Microorganisms

1-11 مقدمة Introduction

لا شك إن مسألة توافر المياه السطحية العذبة - بنوعية جيدة وكمية كافية – هي واحدة من أهم القضايا التي تهم الجنس البشري، بل من أخطرها على الإطلاق، لأن المشاكل المرتبطة بهذه القضية ذات مساس مباشر بحياة مئات الملايين من بني البشر والكائنات الحية الأخرى، إذ كما هو معلوم يتمتع الماء من بين جميع الموارد المتجددة بصفات فريدة تجعل منه مورداً لا يمكن الاستغناء عنه أو تعويضه.

على النقيض من هذا فإن الإنسان لم يعبأ باحتياجاته من الماء العذب للإيفاء بمتطلباته المختلفة، بل أخذ يمعن في تعريض الوسط المائي كله إلى شتى أنواع ومصادر التلوث بفعل أنشطته المتعددة، وكان من جراء هذه الممارسات أن ظهرت أعراض التدهور أو التلوث وتردي النوعية في معظم المسطحات المائية مما يؤثر على استخدام مياهها لمختلف الأغراض.

2-11 أهمية الأحياء المجهرية في الماء

Significance of Micro-Organisms in Water

يُعد موضوع تلوث المياه والأمراض المرتبطة به من أكثر المواضيع التي اهتم بها العلماء والباحثون. وليس من الغريب أن تكون أعداد البحوث والدراسات التي تناولت هذا الموضوع يفوق نظيراتها من الدراسات الأخرى التي تناولت جوانب أخرى في ذات المجال، ويعود هذا لسببين رئيسين هما:

1. **أهمية الماء وضرورته**، إذ لا يمكن لأي كائن حي مهما كان حجمه وشكله ونوعه أن يعيش بدونه، وهو (أي الماء) يدخل في كل العمليات الحيوية والبيولوجية والصناعية وغيرها، كما يدخل في كل التفاعلات الكيميائية والتحولات التي تحصل داخل جسم أي كائن حي.
2. **يشغل الماء أكبر حيز في الغلاف الحيوي** وهو أكثر المواد انتشاراً وتوزيعاً، إذ يشكل 70,8 % من مساحة الكرة الأرضية ويبلغ حجم الماء الموجود على ظهر هذه الكرة بحدود 1400 مليون كيلومتر مكعب، وهذا ما حدى بالعلماء إلى إطلاق تسمية الكرة المائية أو اللؤلؤة الزرقاء على كوكب الأرض. من جهة أخرى يشكل الماء60 %- 70 % من أجسام الأحياء الراقية وفوق نسبة 90% من أجسام الأحياء الدنيا، وتلوث الماء من هذا المنطلق يؤدي إلى أضرار بليغة على الناحية الصحية.

تحتل العلاقة بين نوعية الماء وبين الصحة أهمية خاصة في اهتمام مختلف شرائح المجتمع، وهناك اعتقاد قوي من أن مشاكل تلوث المياه لها علاقة وثيقة بالتأثيرات على الصحة البشرية. ويشير (هيبوقراط) والمعروف لدى الأطباء بأنه (أبو الطب) بأن من أراد أن يعرف الطب بشكل صحيح ينبغي عليه أن يأخذ بالحسبان دور الفصول/المناخ والرياح والماء في تشخيصه للمرض.

وعموماً تقسم هذه العلاقة إلى أربعة فئات هي:

- يلعب الماء دوراً مهما كوسط ناقل للأحياء المجهرية المسببة للأمراض.
- يلعب الماء دوراً غير مباشر كموطن للبعوض والحشرات الضارة الأخرى التي تنقل مسببات المرض
- يكون الماء وسطاً مهماً لنقل العديد من المواد الكيميائية السامة.
- يكون للماء تأثيرات نفعية هامة إما عن طريق استخدامه في الإصحاح العام أو جراء وجود بعض المكونات الكيميائية الضرورية فيه.

تؤثر نوعية الماء بشكل أساس على الصحة العامة سواء كانت تلك النوعية كيميائية، فيزيائية، أو بيولوجية. وتساعد معرفة الناحية البيولوجية على وجه الخصوص في منع حصول الأمراض، إذ أن من المحتمل حصول الأوبئة والأمراض جراء رداءة النوعية البيولوجية للماء. صحيح إن للنوعية الكيميائية دوراً هاماً في هذا المضمار، إلا إنها أقل أهمية من الناحية البيولوجية فضلاً عن أن الآثار التي تسببها النوعية الكيميائية ذات طبيعة مزمنة وتوافر الوقت كفيل باتخاذ الإجراءات الضرورية والوقائية لمعالجتها.



شكل 11-1 طرح مياه الفضلات دون معالجة إلى الموارد المائية

تشير دراسات منظمة الصحة العالمية إن ما يربو عن 80% من كل الأمراض وأكثر من 30% من الوفيات في الدول النامية لها علاقة وثيقة بتلوث المياه، وإن الإنسان على هذا الكوكب يفقد 10% من سني عمره بإصابته بالأمراض ذات الصلة بالماء. وتؤكد هذه الدراسات إن أكثر الفئات العمرية تأثراً بالأمراض هم الأطفال دون الخامسة من العمر.

أسئلة الفصل الحادي عشر

س1) ماهي أهمية الأحياء المجهرية في الماء.

س2) كيف تقسم العلاقة بين نوعية الماء والصحة العامة.

س3) ما المقصود بتلوث المياه، وماهي أنواعه؟

الفصل الثانى عشر

الصحة العامة

General Health

12 الفصل

محتويات

تعلم المواضيع

الصحة العامة

- الأمراض ذات الصلة بتلوث المياه
- مسببات الأمراض
- المؤشرات البكتريولوجية لتلوث المياه
- الاختبارات البيولوجية لتلوث المياه
- أنواع الأمراض وأعراضها
- الوقاية من الأمراض

الصحة العامة

General Health

1-12 الأمراض ذات الصلة بتلوث المياه

تلحق الأمراض المتعلقة بالماء ضرراً فظيعاً بصحة الإنسان، وهذه الأمراض تكون بأنواع كثيرة، ولكنها جميعاً لها علاقة مباشرة بالحاجة إلى مياه نظيفة. وينشأ العديد من تلك الأمراض ببساطة بسبب عدم توفر مياه للشرب وتنظيف الأطعمة، بينما يتفشى غيرها بسبب عدم توفر منشآت ملائمة لتوفير الصحة العامة الوقائية والممارسات غير السليمة للنظافة الصحية الشخصية التي لها علاقة مباشرة بعدم وجود مياه نظيفة.

والأمراض المتعلقة بالماء هي واحدة من أبرز المشاكل الصحية في العالم التي يمكن الوقاية منها إلى حد كبير. فالكوليرا وغيرها من أمراض الإسهال مسؤولة وحدها عن وفاة 8,1 مليون إنسان كل سنة. وأكثر أولئك إصابة هم فقراء الدول النامية، لا سيما الأطفال، فالأمراض المتعلقة بالماء تحصر الملايين في دورة من الفقر والجهل وضعف الصحة، وكثيراً ما تجعلهم عاجزين عن العمل أو الذهاب إلى المدرسة.

ومن بين أشهر الأنواع التي يسببها تلوث المياه ما يأتي:

- أمراض محمولة بالماء تنتشر في الماء الذي يحتوي على بول وبراز بشري أو حيواني، إما عند شربه مباشرة أو تناول طعام غُسل به. وتتضمن هذه الأمراض: الكوليرا وغيرها من أمراض الإسهال، حمى التيفوئيد، شلل الأطفال، الدودة الشريطية، الدودة الدائرية. وتتسبب أمراض الإسهال بـ17% (17 من بين كل مئة) من وفيات الأطفال في العالم.
- أمراض ناجمة عن نقص الغسل بالماء تنتشر بسبب عدم النظافة وملامسة الجلد أو العين للماء القذر. وتُسمّى (مغسولة بالماء) لأن سببها انعدام الصرف الصحي والنظافة، ولأن التنظيف بالماء يحمي من الإصابة بها. وتتضمن هذه الأمراض: التراخوما (الذي قد يسبب العمى لاحقاً في الحياة)، القمل، الجرب، حمّى التيفوس .

- أمراض أساسها الماء تنتشر في المياه الملوّثة بالطفيليات (الديدان) إما عند شربه أو إذا اخترق الجلد (من خلال جرح مفتوح عادة). وتتضمن: البلهارزيا التي قد تبطئ النمو والتطور، داء الحييات الذي يسبب التشوهات والإعاقات.
- أمراض ذات الصلة بالماء، أمراض تنقلها الحشرات متعلقة بالماء تنتشر من خلال الحشرات التي تتكاثر (تعيش (في الماء القذر أو بالقرب منه. ففي المناطق الريفية، يتعرّض الناس إلى لسع تلك الحشرات عند مصادر الماء. وتتضمن هذه الأمراض: الملاريا، فيروس التهاب الدماغ الياباني، مرض النوم، عمى النهر، الحمى الصفراء، حمى تكسير العظام (الضنك).



شكل 12-1 زيادة تركيز المغذيات يسيء إلى المورد المائي

تنتقل كثير من الأمراض بواسطة الماء الملوث، ومن تلك الأمراض حمى التيفوئيد، وداء البلهارزيا والدوسنتاريا، لذا يجب الحذر الشديد والابتعاد عن الماء الملوث، فالوقاية خير من العلاج. كثيرة هي الأمراض التي تنتقل عبر الماء الملوث، ولا سيما تلك التي تسببها بعض الجراثيم أو الطفيليات التي يحتوي عليها براز الإنسان المريض أو بوله، وفي مقدمتها حمى التيفوئيد وداء البلهارزيا، وداء الديدان الانكيلوستوما، وسائر الديدان. أما حمى التيفوئيد فتستقر جراثيمها في أمعاء الإنسان ودمه وبوله، فاتصال بول المصاب بها أو اتصال برازه بالماء، يمكن أن يؤدي إلى نقل جراثيمها إن كانت فيه، ولقد كان الماء من أهم وسائل نقل هذا المرض وانتشاره في الناس قبل اتخاذ الوسائل الحديثة لتطهيره ومراقبته في البلدان الراقية، ولكنه ما زال عاملاً مهماً في نقلها في البلدان المتخلفة. وأما مرض البلهارزيا فهو مرض يتصف بالتهاب في المثانة (تبول الدم) أو التهاب في القولون (الديزنتري).

ينطرح بيض الطفيلي مع البول في النوع الأول، ومع البراز في النوع الثاني، حتى إذا ما بلغت الماء ولا سيما الماء الراكد القليل الحركة فانهما تفقسان يرقة صغيرة، لا تلبث أن تدخل أحد أنواع الحلزون أو في ذوات القواقع تتحول إلى يرقة ذات ذنب، وهذه الأذناب تسبح في الماء، حتى تصادف إنساناً يغتسل في الماء، أو يسبح فيه، أو يغسل فيه ثيابه، أو يشرب منه، أو يخوض في ماء الري، حيث تخترق الجراثيم بشرة الجلد، بأن تدس نهايتها الأمامية في الجلد وتستغني عن ذيلها، وفي غضون أربع وعشرين ساعة، تصل إلى الدم، فتجول في الدورة الدموية، ثم ينتهي بها المطاف إلى داخل الكبد، حيث تكبر وتتزاوج، ثم تهاجر إلى جدران المثانة أو الأمعاء لتبيض. وأما ديدان الانكيلوستوما فهي ديدان تكون في الأمعاء، وتُحدث في المصاب ألماً في البطن، وبعد مدة يظهر فقر الدم الشديد، وتصير الأغشية المخاطية كلها شاحبة جداً، وينتفخ الوجه وتتورم الرجلان، وقد يظهر على المريض استسقاء، أي تراكم السوائل في أنسجته وجوف البطن، وإذا لم يعالج المرض، فيعم الاستسقاء جميع الأطراف، أو ينحل المريض ويهزل جداً حتى تبدو عظامه، ولكنه على كل حال يبقى منتفخ البطن بالسوائل، حتى يموت. وبيض هذه الديدان التي تطرح مع البراز، تفقس عن يرقاتها إذا وجدت تربة رطبة، كأرض الحقول أو المزارع أو المناجم، فإذا لامسها إنسان نفذت من جلده مباشرة، وتابعت مسيرتها فيه حتى تبلغ الدم، ثم تصل بالدوران إلى الكبد ثم الرئة ثم الأمعاء. وأكثر من يتعرض لعدواها الزراع وعمال المناجم، ولكنها كذلك تهاجم الأطفال الذين يخوضون في الوحل الموبوء بها حفاة فيصابون بها. وواضح إن الوقاية منها تقوم على الحيلولة دون وصول شيء من الغائط إلى سطح الأرض ولا سيما في الظل، إذ يحافظ الظل على الرطوبة اللازمة لحياة اليرقات، ويحفظها من التأثير المطهر الذي تتصف به أشعة الشمس.

يتبين مما تقدم إن وقاية الماء من التلوث ونقل عدوى الأمراض الآنفة الذكر تتلخص في أمرين اثنين هما:

(1) منع وصول جراثيم هذه الأمراض وطفيلياتها إلى الماء أو التربة الرطبة.

(2) عدم تعريض الإنسان نفسه إلى عدواها بنزوله في الماء الذي يحتمل أن يحتوي عليها، وهو على الخصوص الماء الراكد القليل الحركة، ويبين الجدول (12-1) عدد من الأمراض التي يسببها تلوث المياه.

جدول 12-1 الأمراض التي تصيب الجنس البشري بسبب تلوث المياه

المرض		**عدد الإصابات سنوياً ×1000**	**عدد الوفيات سنوياً ×1000**
أمراض ينقلها الماء	الأميبا	400000	30
	الإسهال	3-5 مليون	10000-5000
	شلل الأطفال	80000	20-10
	التيفوئيد	1000000	25
أمراض ناجمة عن عدم الغسل بالماء	ديدان الإسكارس	1000-800	20
	البرص	12000	قليل جداً
	الدودة السوطية	500000	قليل
أمراض مستوطنة بالماء	البلهارزيا	20000	1000-500
أمراض وثيقة الصلة بالماء	مرض النوم	1000	5
	الملاريا	800000	1200
	العمى النهري	30000	50-30
أمراض ينقلها البراز	دودة الانكيلوستوما	9000-7000	60-50

12-2 مسببات الأمراض

يؤدى تلوث المجاري المائية بالمخلفات الآدمية إلى تواجد مسببات الأمراض. من أهم هذه المسببات ما يأتي:

1- البكتريا: مثل ضامات الكوليرا – السالمونيلا – الشيجيلا وغيرها.

2-الفيروسات: فيروس الالتهاب الكبدي الوبائي (أ)، وفيروس الالتهاب الكبدي (ب)، وفيروس شلل الأطفال، والفيروسات للإسهال والنزلات المعوية.

3-الطفيليات: مثل البلهارزيا، الدوسنتاريا الأميبية، الدودة الكبدية، والهيتروفيس.

وبالرغم من وجود إمكانيات للكشف عن هذه المسببات للأمراض، إلا أن هناك صعوبات معملية للكشف عنها بصفة دورية وروتينية، وقد تم الاتفاق عالمياً على استخدام أنواع أخرى من البكتريا التي تتواجد بأعداد كثيرة في الأمعاء الغليظة للإنسان وتقاوم البيئة الخارجية أكثر من مسببات الأمراض – كمؤشرات لاحتمال وجود مسببات الأمراض في هذه المياه.

3-12 أهم المؤشرات البكتريولوجية لتلوث الموارد المائية

إن من أهم المؤشرات البكتريولوجية لتلوث المياه هي الميكروبات التي إذا وجدت بالماء فإنها تعتبر دالة على تلوث الماء بمياه المجاري، أو كائنات أخرى ملوثة. وهي دالة على وجود الميكروبات الممرضة.

أهم مميزاتها:

1- وجودها فقط في المياه الملوثة.

2- تلازم وجودها الميكروبات الممرضة.

3- العلاقة النسبية بين أعدادها والتلوث المائي بالميكروبات.

4- تتميز بقدرتها على العيش مدة أطول من الممرضة في الماء.

5- غير ضارة للإنسان.

6- سهولة الكشف عنها معملياً لوجودها بأعداد كبيرة مقارنة بالممرضة.

من أنواعها:

أولاً: – المجموعة القولونية:

وتتواجد في التربة وروث الحيوانات وبراز الإنسان وفى استطاعتها التكاثر في المعمل عند درجة حرارة 35 ،37 درجة سيليزية وينتج عن تكاثرها غاز وحامض ما بين 24 - 48 ساعة.

ثانياً: – باسيل القولون النموذجي:

يتواجد في الأمعاء الغليظة للإنسان وتواجده في المياه يعنى تلوثها من مصدر أمنى بمعنى أن المياه تحتوى على مسببات الأمراض، وهو أحد فصائل المجموعة القولونية ويتميز عنها أنه قادر على النمو معملياً في درجات أعلى بين 44 – 44,5 درجة سيليزية وينتج عن تكاثره غاز وحامض أيضاً.

ثالثاً:- المكورات السبحية البرازية:

وتتواجد في الأمعاء الغليظة للإنسان وتواجدها دلالة على تلوث المياه بسبب الإنسان، ونظراً لأن مخلفات بعض الحيوانات تحتوى على نفس المكورات السبحية البرازية أكثر من 1:3 فإن مصدر التلوث يكون آدمياً، أما إذا كانت نفس النسبة أقل من 0,7:1 فإن مصدر التلوث هو الحيوانات.

4-12 الاختبارات البيولوجية للكشف عن المياه وصلاحيتها للشرب

1- طريقة عد الأطباق.

2- اختبار مجموعة القولون:

أ- الاختبار الاحتمالي.

ب- الاختبار التحقيقي.

ج- الاختبار التكميلي.

3- الكشف عن الميكروبات الأخرى.

12- 5 أنواع الأمراض و أعراضها

عادة ما يصاب المريض عند حصول المرض بارتفاع في درجة الحرارة يدوم عدة أيام، ويشكو خلالها من الصداع والوهن وألم البطن والإسهال المدمي ويفقد شهية الطعام، ومن أهم طرائق الوقاية لمنع انتشار المرض هي التركيز على التحكم في نظافة وصحة الماء والغذاء، والصحة الفردية والنظافة الشخصية، حيث كان هذا المرض ولا زال يدعى مرض الأيدي القذرة.

ينتقل المرض مباشرة باستعمال حاجات المريض الشخصية الملوثة، أو عن طريق تناول الأطعمة المكشوفة، والفواكه والخضار غير المغسولة جيداً، التي قد تكون ملوثة بالجراثيم.

ومن أهم الأمراض التي يكون الماء سبباً في الإصابة بها ما يأتي:

1- الزحار العصوي: وهو مرض ينتقل من الإنسان إلى الإنسان، تسببه جراثيم عديدة تنتقل عن طريق الماء والطعام، ويصيب الأمعاء و يتصف بالإسهالات المترافقة بالدم والصديد والمخاط وبالزحير عند الخروج، كما إن مرض الزحار ينتشر بسرعة ويصيب مجموعات كبيرة من الناس في

وقت واحد كالتجمعات المدرسية، حيث يكون الطعام والشراب المشترك بين هذه الفئات مصدراً جماعياً للعدوى.

2-الكوليرا: ويتسبب في هذا المرض جراثيم خاصة تسمى ضمات الكوليرا، وتلوث الماء بهذه الجراثيم لا يحدث إلا من خلال أشخاص مصابين بالمرض، لكن سرعان ما تزول هذه الضمات من الماء الملوث خلال أيام قليلة عند منع التلوث، تبقى جراثيم الكوليرا حية في الماء لمدة 7 إلى 13 يوماً، بينما لا تبقى في المياه المحتوية على عدد كبير من الجراثيم سوى يوماً واحداً أو يومين. يبدأ المرض عادة بإسهال عادي، ثم يصبح سائلاً أبيض، وتقيؤ شديد، وتشنجات عضلية مؤلمة، وشحوب اللون، وجحوظ العينين، وجفاف الجلد، وفي هذه المرحلة تحدث الوفاة، يجب أن يتصل المريض في الساعات الأولى من الإصابة بأقرب مركز صحي قبل أن تبلغ الإصابة مرحلة متقدمة.

3-التهابات الكبد الفيروسي: لهذا المرض عدة أنواع من بينها، التهابات بالحمى Hepatitis A، ينتشر مرض التهابات الكبد الفيروسي بالحمى (أ) على شكل جائحات فصلية في الخريف والشتاء في البيئة التي تنعدم فيها الشروط الصحية، وتهمل فيها النظافة الفردية عن طريق الماء والطعام الملوثين ببراز المصابين أو حاملي المرض، تعتمد مكافحة هذا المرض على مراقبة نظافة وصحة الماء والغذاء، واتباع سبل النظافة الفردية.

4- الجذام الجلدي: هذا المرض المعدي قد ينتشر بشكل عدوى يسببه ميكروب صغير جداً، أعراض المرض ارتفاع في درجة الحرارة، آلام في الرأس، دقات قلب سريعة وظهور طفح وردي اللون بعدها يبدأ الدم يخرج من هذه البقع، بعد عدة أيام يفقد المريض الوعي، يتسبب هذا المرض عن طريق القمل، إذ أن القملة تحمل الجراثيم وتنتقل إلى الجلد عن طريق الحك ثم تصل إلى داخل الجسم. يتفشى هذا المرض في المناطق التي لا يحافظ فيها السكان على نظافة الجسم والبيوت.

5- مرض الخناق "الدفتيريا": مرض خطير يصيب الأطفال عادة، يسبب هذا المرض ميكروبات تسمى ميكروبات لوفر نسبة إلى الباحث الذي اكتشفها، تدخل هذه الميكروبات إلى الجسم عن طريق الفم أو الأنف أو نتيجة شرب الحليب غير المعقم أو غير المسخن، من أعراض هذا المرض ارتفاع درجة الحرارة، احتقان في الأنف والبلعوم، رشح من الأنف مع سعال خفيف، ثم يبدأ المريض يشعر بصعوبة التنفس. يحصل هذا المرض على هيئة حالات انفرادية تظهر بين فترة وأخرى.

6- مرض الكزاز: مرض الكزاز مرض خطير سببه جرثومة التيفوئيد، هذه الجرثومة فعالة في داخل الجسم وغير فعالة خارجه، وتأثيرها يقع في أماكن كثيرة وعندما تدخل إلى الجسم عن طريق الجروح والخدوش تبدأ فاعليتها وهي إفراز مواد سامة داخل الجسم، هذه المواد تدخل الخلايا العصبية وتسبب خللاً في جهازي الأعصاب وعضلات القلب وجهاز التنفس يسبب موت المصاب، لذا يجب تطهير الجروح وعدم تركها مكشوفة.

7- **مرض التدرن**: التدرن مرض معد تسببه جراثيم دقيقة عضوية اكتشفها الباحث كوك، يصيب السل الإنسان والحيوان، ينتقل هذا المرض من إنسان مصاب إلى آخر سليم بواسطة اللمس واستعمال أدوات يستعملها المصاب، كذلك إذا أكل الإنسان لحوم حيوانات مصابة أو شرب حليب بقر مصاباً بالمرض. عندما يسعل المريض تتطاير الجراثيم في الهواء وهذا يسهل أيضاً الإصابة. تدخل الجراثيم الجسم، تدور مع الدورة الدموية وتصل إلى الكليتين، الكبد، والرئتين، حيث تبقى مدة ثم تبدأ أعراض المرض وهي فقدان الشهية، الضعف، التعب، الشديد، ارتفاع درجة الحرارة ثم السعال الشديد مع خروج الدم مع البصاق.

8- شلل الأطفال: شلل الأطفال من الأمراض التي تصيب الأطفال حتى سن العاشرة، قد يصيب الكبار أيضاً، يسبب هذا المرض فيروس يعيش في الأنف والبلعوم في بادئ الأمر، يبدأ المرض بارتفاع في درجة الحرارة، وصداع شديد، وأوجاع في مفاصل الأطراف، وفي الأطراف نفسها، بعد أيام يصاب أحد الأطراف بشلل، تنتقل العدوى بالسعال والتنفس وذلك لأن الفيروس موجود بكميات كبيرة في الإفرازات الأنفية والفمية للمريض، لذا وجب الابتعاد عن المريض، وللوقاية من هذا المرض يعطى للأطفال الذين تتراوح أعمارهم بين سنة واحدة وخمس سنوات مصل خاص بشلل الأطفال.

6-12 الوقاية من الأمراض

كثير من الأمراض التي يصاب بها الإنسان، تسببها الجراثيم والفيروسات، والديدان، لذا يتوجب على الإنسان إبعاد هذه الأمراض وذلك بمحاولة القضاء على مسبباتها سواء كانت جراثيم أو فيروسات أو ديداناً، كذلك يعطي الإنسان لجسمه المناعة والقوة والحصانة لمقاومة هذه الأمراض بواسطة التطعيم بمضادات الأمراض، فالتطعيم يكسب الجسم مناعة وحصانة تجعله يقاوم المرض. المواد التي تعطي للجسم تنتج أجساماً مضادة للجراثيم والفيروسات وتقاومها، وهذا ما يجعل الجسم قادراً على مقاومة الأمراض المعدية والخطيرة.

أسئلة الفصل الثاني عشر

س1) ماهي أنواع الأمراض التي يسببها تلوث الماء.

س2) كيف تساهم المياه في نقل الأمراض إلى الإنسان.

س3) اذكر أهم أنواع الأحياء المجهرية المسببة للأمراض.

س4) اذكر أهم الميكروبات التي تتواجد في المياه الملوثة، مبينا أنواعها.

س5) ماهي الاختبارات البيولوجية للمياه.

س6) ماهي أنواع الأمراض التي تسببها المياه الملوثة، وما هي أعراض كل نوع منها.

الفصل الثالث عشر

الأحياء المجهرية في المياه

Microorganisms in Water

الفصل 13

محتويات

تعلم المواضيع

- أنواع الأحياء الدقيقة في المياه.
- تأثير المعالجات المختلفة على الأحياء المجهرية.
- دور الكائنات الحية الدقيقة في معالجة مياه الصرف.
- الرصد وجمع العينات.
- تحديد مواقع أخذ العينات.
- طرائق أخذ العينات من أجل الاختبار الجرثومي.

الأحياء المجهرية في المياه

الأحياء المجهرية في المياه

Microorganisms in Water

1-13 أنواع الأحياء الدقيقة في المياه Types of Micro-Organisms in Water

1-1-13 الأميبا وأخطارها

الأميبا من مجموعة الحيوانات الأولية (البروتوزوا) ذات الخلية الواحدة، دقيقة حيث لا ترى في العين المجردة، تعيش في المياه الراكدة، تنتقل إلى أمعاء الإنسان بواسطة الأيادي القذرة، والفواكه والخضراوات الغير نظيفة، عندما تصل إلى الأمعاء تهاجم خلايا الأمعاء حيث تحللها وتفككها، وهذا يسبب الألم الشديد، فقدان الشهية، الإسهال والقيء، وإذا استمر الأمر دون علاج تخترق جدران الأمعاء وتنتقل بواسطة الدورة الدموية إلى الكبد أو المخ حيث تتكاثر ويتضاعف عددها، عندما تكون الأميبا خارج الأمعاء تنقبض وتحيط جسمها بغشاء صلب نسبياً يتطلب أدوية ذات مفعول قوي للقضاء عليها. يوجد نوعان للأميبا الطفيلية الضارة، انتاميبا هستولاتيكا التي تعيش في تجويف الأمعاء الدقيقة، والانتاميبا كولاي التي تعيش على البكتيريا المونوعية في الزائدة الأعورية لأمعاء الإنسان الغليظة.

2-1-13 الدودة الاثنتا عشرة

هي من ا الطفيليات التي تدخل إلى الجسم عن طريق الطعام الملوث أو الغير مطبوخ، كذلك عن طريق الجلد، لها أسنان حادة قرب الفم تستطيع بواسطتها أن تلتصق بجدار الأمعاء، وعندما تكبر يصبح طولها حوالي السنتميتر الواحد، تضع الأنثى البيض داخل الأمعاء وعندما تفقس تخرج اليرقات الصغيرة خارج الجسم مع فضلات الطعام، يمكنها الدخول إلى الجسم كما ذكرنا، عن طريق الجروح في الجلد أو بواسطة الطعام الغير مطبوخ، يكثر هذا الطفيل في الأماكن الحارة والرطبة.

2-13 تأثير المعالجات المختلفة للمياه على الأحياء المجهرية

إن مياه الشرب تعالج في محطات التصفية قبل ضخها إلى المستهلكين. وتعتبر مرحلة التعقيم آخر مراحل المعالجة حيث يتم خلالها القضاء على كافة الأحياء المضرة فيه. إما في مياه الفضلات فتعتبر مرحلة المعالجة البيولوجية من أهم مراحل المعالجة التي يجب تطبيقها على المياه في المحطة وتهدف هذه المعالجة إلى أكسدة المواد العضوية المختلفة في مياه الفضلات وتحويلها إلى مركبات مستقرة وكتلة حيوية تتألف في معظمها من البكتريا وبعض الكائنات الدقيقة التي يمكن فصلها عن المياه ومعالجتها على انفراد وبالتالي الحصول على مياه خالية عملياً من التلوث العضوي، ويعتبر وجود

الأوكسجين والبكتريا أهم عنصرين من العناصر المطلوبة لإنجاح المعالجة البيولوجية إضافة إلى شروط أخرى مثل درجة الحرارة ووجود بعض المغذيات المساعدة، ومن الطرائق الشائعة للمعالجة البيولوجية:

أولاً - المرشحات البيولوجية

ثانياً - الأقراص البيولوجية الدوارة

ثالثاً – الحمأة المنشطة

رابعاً – التهوية المطولة

خامساً- خنادق الأكسدة

سادساً – برك الأكسدة

3-13 دور الكائنات الحية الدقيقة في معالجة مياه الصرف

الكائنات الدقيقة يمكنها أن تحول الفضلات المتخلفة عن الصناعة إلى مواد غير ضاره بالبيئة المائية، ومن هذه الكائنات:

أولاً: البكتيريا: ولها عدة أنواع منها (المفيدة، والضارة) وتتفاوت في خصائها. تتكاثر البكتريا بواسطة الانقسام الثنائي المستعرض أي بطريقة تكاثرية لا جنسية.

ثانياً: الفطريات: ولها نوعين (الخمائر وحيدة الخلية، الاعفان متعددة الخلايا) وتختلف في خصائصها منها المفيد (البنسلين، خميرة المنزل، الجبن)، والضار (تسبب أمراض جلدية).

ثالثاً: البروتوزوا والروتيفيرا: البروتوزوا هي كائنات أوليه ميكروسكوبية غير ذاتيه التغذية ومعظمها هوائية المعيشة، قد تستهلك البروتوزوا البكتيريا كمصدر من مصادر الطاقة والغذاء، أما الروتيفيرا فهي كائنات دقيقه غير ذاتيه التغذية هوائية ومتعددة الخلايا ومتحركة، والروتيفيرا مستهلك جيد للبكتيريا المنتشرة في المياه.

رابعاً: الطحالب: وهي كائنات وحيده الخلية أو متعددة الخلايا ذاتية التغذية عن طريق البناء الضوئي.

4-13 الرصد وجمع العينات

يتطلب التنفيذ العملي لمعايير جودة مياه الشرب جمع وتحليل العينات وكلتا العمليتين تطرح بعض المشاكل التي إن لم تعالج أفقدت نتائج المراقبة موثوقيتها وقضت على فائدة المعايير. ويفترض في برامج جمع العينات وتحليلها توفر المعلومات الصحيحة حول مياه الشرب ويصبح من الضروري تحليل أغراضها بوضوح وبما لا يدع مجالاً للالتباس، يمكن لكثير من المواد أن توجد في مياه الشرب وضمن مجموعات شتى من الأشكال أو الأنواع الكيميائية والفيزيائية والتي تختلف خصائص كل منها عن الأخرى اختلافا ملحوظا. ولا بد من اختيار الطرائق التحليلية بعناية لكي يكون من الممكن تحديد كافة الأنواع ذات الأهمية واستبعاد الأشكال التي لا أهمية لها.

ولكي يتسنى تقييم جودة المياه الصالحة للشرب التي يتم إمداد / تزويد المستهلكين بها، يتطلب الأمر عادة توافر معلومات حول فترة مفترضة (يمكن أن تتغير خلالها الجودة) ويجب تصميم برنامج اخذ العينات بحيث يعطي كلا من التغيرات العشوائية والنظامية في جودة المياه في كل مكان من شبكة التوزيع بأسرها ويجب أن يكون تواتر أخذ العينات عالياً بما يكفي ليمكن البرنامج من توفير المعلومات واضحة الدلالة، مع المثابرة في نفس الوقت على أخذ العينات ومتابعة الجهد التحليلي، ويمكن خفض تواتر أخذ العينات في حال التأكد من عدم وجود مواد ملوثة مطلقا أو في حال الحصول على إمدادات المياه من المصادر ذات التعرض المحدود للمخلفات الصناعية والمنزلية والزراعية.

يعتبر تواتر أخذ العينات وتقييمها جوهرياً بالنسبة للمقومات المكروبيولوجية، إلا أن الحاجة إلى أخذ العينات وتحليلها بهدف التحكم في المركبات العضوية واللاعضوية ذات الصلة بالصحة والموجودة في مياه الشرب ستكون أقل تواتراً، ينبغي إجراء تقييم شامل بمجرد دخول أي مصدر جديد من مصادر المياه في الخدمة. وبمجرد حدوث أي تغيير رئيسي في عمليات المعالجة، ويلي ذلك وجوب تحليل العينات دورياً. ويتجدد التواتر بالظروف المحلية. يجب اختيار المواقع الدقيقة لأخذ العينات بعناية وذلك لتأمين عينات ممثلة لكامل الشبكة أو كامل نطاق المشكلة الخصوصية.

ويوضح الجدول (13-1) برنامج أخذ العينات حسب عدد السكان المستفيدين من المصدر المائي:

جدول 13-1 برنامج أخذ العينات حسب عدد السكان المستفيدين من المصدر المائي

عدد السكان المستفيدين من المصدر المائي	عدد العينات الشهرية المطلوبة
5000	عينة واحدة
5000-100000	عينة لكل 5000
أكثر من 100000	عينة لكل 10000 + 10 عينات إضافية

13-4-1 تحديد مواقع أخذ العينات

يجب أن تمثل مواقع أخذ العينات جميع نقاط المصدر المائي بحيث تأخذ بنظر الاعتبار النقاط الآتية:

1. اختيار نقاط أخذ العينات بحيث تكون لها سمة تمثيلية بالنسبة للمصادر المختلفة التي يحصل منها عامة الناس على المياه، أو تدخل في نظام التوزيع.
2. أن تشمل هذه المواقع على النقاط التي تعطي العينات التمثيلية بالنسبة للأحوال السائدة في الأماكن والمصادر الأكثر حرماناً في نظام الإمداد، ولا سيما نقاط التلوث المحتملة في المصادر غير المحمية وحلقات الوصل والمستودعات ومناطق الضغط المنخفض ونهايات الشبكة.
3. أن تكون نقاط أخذ العينات موزعة توزيعاً نظامياً على شبكة المياه بأسرها وأن يوضع في الاعتبار توزيع السكان، وينبغي أن يتناسب عدد نقاط أخذ العينات مع عدد الوصلات أو التفرعات.
4. ينبغي أن تعطي النقاط المختارة عينات لها صفة تمثيلية بالنسبة للنظام ولمكوناته الرئيسية.
5. ينبغي أن تكون نقاط اخذ العينات في مواقع يمكن عندها أن تؤخذ عينات الماء من الأحواض الاحتياطية أو المستودعات.
6. في الشبكات التي تعتمد أكثر من مصدر للمياه، ينبغي أن يبنى تحديد مواقع أخذ العينات على عدد السكان الذين يخدمهم كل مصدر من هذه المصادر.
7. لا بد من وجود نقطة واحدة على الأقل لجمع العينات مباشرة بعد مخرج المياه النظيفة من كل محطة معالجة.

ويمكن تصنيف مواقع أخذ العينات في شبكة المياه كالتالي:

1. ثابتة ومتفق عليها مع الجهة المسؤولة عن المياه.
2. ثابتة وغير متفق عليها مع الجهة المسؤولة عن المياه.
3. عشوائية أو متغيرة.

13-4-2 جمع العينات وحفظها

تتوقف قيمة النتائج المختبرية أساساً على سلامة العينات المختبرة، والعينة الصحيحة يجب أن يكون حجمها كافياً لإتمام الإجراءات المختبرية. وأن تمثل تمثيلاً كاملاً المصدر المائي المأخوذة منه، وأن تحتفظ بحالتها في أثناء الجمع، ويراعى عدم تعريضها لأي مؤثرات تؤدي إلى تغيير خصائصها خلال الفترة منذ جمعها وحتى إجراء الاختبارات عليها.

إما نوع العينة فيتم اختياره اعتماداً على هدف التحليل إذ يمكن أن تكون مفردة أو مركبة، **العينة المفردة** تؤخذ دفعة واحدة بحيث تعطي نتائج تحليل هذه العينة معلومات عن مصدرها في وقت أخذ العينة، إما **العينة المركبة** فتعتبر مجموع لعدة عينات بأحجام متساوية مأخوذة من أماكن مختلفة أو في أوقات زمنية مختلفة ويجب أن لا يتجاوز زمن جمع العينات المفردة للعينة المركبة أكثر من 24 ساعة بشرط أخذ العينات المفردة بشكل صحيح.

13-4-3 طرائق أخذ العينات من أجل الاختبار الجرثومي

يجب ضمان عدم تعرض عينات المياه عند جمعها لأي ملوثات خارجية، فإذا لم تكن العينات صالحة فقد تكون نتائج التحليل التالي مضللة.

وقد يستخدم العديد من أنواع القوارير لأخذ العينات، ولكن القوارير الزجاجية هي الأفضل، ويجب أن تكون لهذه الزجاجات أغطية زجاجية ليتم تعقيم كل من الزجاجة والغطاء. وكلما استخدم الكلور في التعقيم يمكن أن يوجد المتبقي منه في المياه بعد أخذ العينة وسوف يواصل تأثيره على البكتيريا الموجودة فيه، ولذلك يمكن أن لا تشير نتائج التحاليل الجرثومية إلى المحتوى البكتريولوجي الحقيقي للمياه وللتغلب على هذه الصعوبة، تضاف ثيوكبريتات الصوديوم للعينة وهي مادة تعطل متبقي الكلور، ولكنها لا تؤثر على الجراثيم التي قد تكون موجودة. ويجب إضافة ثيوكبريتات الصوديوم إلى قوارير أخذ العينات قبل التعقيم، بحيث يضاف اربع أو خمس قطرات من ثيوكبريتات الصوديوم المائي تركيزه 100غم/ لتر إلى قارورة نظيفة. ويتم إدخال السدادة في الزجاجة دونما إحكام بينما يربط ورق بني اللون أو رقائق الألمنيوم على عنق الزجاجة لمنع دخول الغبار، ثم يتم تعقيم الزجاجة بالهواء في فرن من الهواء الساخن درجة حرارته 160 درجة سيليزية لمدة ساعة أو 170درجة سيليزية لمدة أربعين دقيقة أو في المؤصدة على درجة121 سيليزية لمدة عشرين دقيقة، ولمنع التصاق الغطاء بالقارورة في أثناء التعقيم يجب وضع شريط من ورق بني بين الغطاء وعنق الزجاجة.

يمكن تقسيم المياه لأغراض أخذ العينة إلى ثلاثة أنواع رئيسية وهي:

- **اخذ العينات من الحنفية أو من فوهة المضخة**

1. قم بإزالة أي وصلات حول الصنبور واستخدم قطعة قماش نظيفة لإزالة أية أوساخ عند الفوهة.
2. افتح الصنبور بأقصى حد لتدفقه واترك المياه تسيل مدة دقيقة أو اثنتين ثم أغلق الصنبور.
3. قم بتعقيم الصنبور لمدة دقيقة بلهب شعلة غاز أو قطعة من القطن مغموسة في الكحول.

4. افتح الصنبور بحذر ودع الماء ينساب لمدة دقيقة أو دقيقتين باندفاع متوسط ولا تعدل سرعة تدفق المياه بعد فتح الصنبور.
5. أخرج القارورة وادر الغطاء الحلزوني أو اسحب السدادة بعناية، وامسك الغطاء والغطاء الواقي وهما موجهان نحو الأسفل (لمنع دخول الغبار الذي قد يلوث العينة)، وضع القارورة فوراً تحت تأثير المياه، و يجب ترك فراغ هوائي ضئيل لتسهيل الرج قبل التحليل.
6. ضع السدادة أو الغطاء على القارورة وثبت الغطاء الواقي.

- **أخذ العينات من مجرى مائي أو مستودع**

1. افتح العلبة المعقمة كما في الفقرة السابقة ثم امسك بها من طرفها السفلي، واغمرها بالماء إلى ما يقارب 20سم، جاعلاً الفوهة تتجه إلى الأسفل قليلاً.
2. إذا كان هناك آبار يجب توجيه الفوهة عكس جهة التيار، ثم تغطى العلبة بالغطاء أو تسد كما في الفقرة السابقة.

- **أخذ العينات من الآبار المحفورة يدوياً أو من مصادر مشابهة**

1. تجهز العلبة ويربط بها حجراً نظيفاً باستخدام قطعة من حبل ثم يؤخذ 20 متر من حبل نظيف ملفوف حول عصا يربط بالحبل المتصل بالعلبة ثم تفتح كما وصف سابقاً.
2. تترك مع الحجر إلى البئر مع إدلاء الحبل ببطء وتجنيبها ملامسة جوانب البئر.
3. تغطس الزجاجة في الماء تماماً وتترك تحت سطح الماء من دون أن ترتطم بالقاع أو تثير أية ثفالة.
4. عند امتلاء العلبة، لف الحبل حول العصا، اخرج العلبة، وإذا كانت ممتلئة تماماً فاسكب بعضاً منها بحيث تترك حيزاً للهواء ثم أغلقها على النحو الموصوف سابقاً.

- **اخذ العينات للتحليل الفيزيائي – الكيميائي**

تعتبر التحاليل الفيزيائية والكيميائية عديمة القيمة إذا كانت العينات المختبرة قد جمعت وخزنت بشكل غير صحيح، ولهذا يجب إتباع الإجراءات الصحيحة لأخذ العينة، وطرائق حفظها وتخزينها، وعموماً ينبغي تحديد المواقع المثلى لأخذ العينات وأسلوب أخذها الأمثل.

أسئلة الفصل الثالث عشر

س1) أذكر أنواع الأحياء المجهرية في الماء، مبيناً المخاطر التي يسببها كل نوع منها.

س2) كيف تؤثر المعالجات البيولوجية للمياه على الأحياء المجهرية، وماهي الطرائق الشائعة لهذه المعالجات.

س3) ماهي أنواع الأحياء المجهرية التي يكون لها دور في معالجة مياه الصرف.

س4) أذكر النقاط التي يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار عند أخذ العينات من المصدر المائي.

س5) بين كيفية وطرائق أخذ العينات لأغراض الفحص البيولوجي للمياه.